Beih. Ber. Naturh. Ges.	5	Keller-Festschrift	Hannover 1968

Feinstratigraphisch-fazielle Analyse der „Schaumkalk-Serie" des Unteren Muschelkalkes im Elm (Ost-Niedersachsen)

Von GUNDOLF ERNST und HORST WACHENDORF*)

Mit 7 Abbildungen, 2 Tabellen und 6 Tafeln

Zusammenfassung

Grundlage der Untersuchungen bilden 12 Steinbrüche aus dem höheren Unteren Muschelkalk des Elms. Diese wurden feinstratigraphisch aufgenommen und mit entsprechenden Aufschlüssen aus Dorm, Asse und Lichtenbergen verglichen. Es ergab sich nach Mächtigkeit und generellem Gesteinscharakter eine gute Übereinstimmung der mu_3- und mu_4-Werksteinbänke und ihrer Wellenkalk-Zwischenschichten. Bezeichnend für die detaillierter bearbeiteten mu_4-Werksteinbänke des Elms sind Konglomerate, schräg geschichtete Schaumkalke und Hartgründe. Diese Gesteinstypen sowie die normale Wellenkalk-Fazies werden beschrieben und die Schüttungsrichtungen aus Schrägschichtung und Geröllanordnung ermittelt.

Die Faziesanalyse ergibt eine kaum voneinander abweichende bathymetrische Stellung für Werksteinbänke und Wellenkalk s. str. Alle Sedimente müssen eine Flachwasser- bis Wattennatur besessen haben. Ein zeitweiliges Trockenfallen wird bewiesen durch Rieselmarken, Schlickgerölle, Karrenbildung und Rotverwitterung an umgelagerten Scheibengeröllen. Für eine überaus rasch erfolgte Verhärtung des Kalkpelits sprechen u. a. scharfkantige, auf Ichnofossilien zurückgehende Sedimentaufbrüche.

Abschließend wird ein Faziesschema vorgeschlagen, in welchem alle Gesteinstypen räumlich nebeneinander vorkommen; aus der Wanderung der verschiedenen Faziesglieder resultiert der Gesteinswechsel in der Vertikalen. Mannigfache sedimentologische Anzeichen weisen darauf hin, daß z. Z. des Unteren Muschelkalks — ähnlich wie im Mittleren Buntsandstein und Oberen Muschelkalk — im Bereich des Elms eine Schwellenregion bestanden hat. Der Untiefencharakter bestimmte die von den benachbarten Vorkommen abweichenden Sedimentationsverhältnisse im Unteren Muschelkalk des Elms.

Summary

Keystone of the research were twelve quarries of the Lower Muschelkalk (Middle Triassic) in the Elm east of Braunschweig (Lower-Saxony). The lithostratigraphy of the outcrops was mapped in detail and the results were compared with analogous exposures in the neighbourhood (Dorm, Asse, Lichtenberge). There exists a good accordance in the petro-

*) Dr. G. ERNST und Dr. H. WACHENDORF, 33 Braunschweig, Technische Universität, Institut für Geologie und Paläontologie, Pockelsstraße 4.

graphic character and in the thickness of the mu_3 and mu_4 freestone-series ("Werksteinbänke") and their intermediate layers ("Wellenkalk s. str."). Infraformational conglomerates, cross-bedded oolithic limestones and hard-grounds are very typical for the freestone-series, which have been treated more in detail. The various rock-types of the freestone-series as well as the normal "Wellenkalk"-facies have been described; the inclination of the cross-bedding and the arrangement of the calcacerous pebbles was measured. The results of the facies-analysis yields hardly a difference between the freestone-series and the intermediate layers in their bathymetric nature. All sediments indicate tidal flat or shallow water phenomenons. A temporary emergence and withdrawal of the water is proven by swash-marks, mud pebbles, redeposited reddish-worn tabular pebbles with etched surfaces embedded in part in an oolithic limestone. A very quick induration of the carbonaceous mud is evident by sharp edged breakings on the sediment surface caused by trace-fossils.

Finally a facies-scheme is recommended, in which all rock-types are separated spacely in an depositional environment. The lithological change in the vertical line is governed by the wandering of the various facies members. Several sedimentological marks signify that during the Lower Muschelkalk — similar to the Middle Bunter and to the Upper Muschelkalk — in the Elm-area a shoal existed. The barrier determinated the sedimentological conditions in the Lower Muschelkalk of the Elm, which are divergent in some respects from outcrops of the same age in other parts of Lower-Saxony.

Inhalt

1. Einleitung
2. Stratigraphie des höheren Unteren Muschelkalkes
3. Die „Schaumkalk-Serie" im Elm
3.1. Spezielle Petrostratigraphie der „Schaumkalk-Serie"
3.2. Die Gesteinstypen der „Schaumkalk-Serie"
3.2.1. Konglomerate
3.2.2. Schaumkalk
3.2.3. Hartgründe
3.2.4. Knauerkalk
3.2.5. Wellenkalk
3.3. Die Schüttungsrichtungen der Schaumkalke und Konglomerate
4. Zur Frage der Bathymetrie und Ökologie der Faziesräume
5. Literatur

1. Einleitung

Seit fast einem Jahrtausend geht im Elm ein reger Abbau auf die Schaumkalkbänke des Unteren Muschelkalkes um. Der nahegelegene Herzogssitz Braunschweig bedurfte zur Errichtung zahlreicher sakraler und profaner Bauten eines geeigneten, einfach zu brechenden Bausteins. Diese Voraussetzungen waren im Elm durch die flache, kuppelförmige Lagerung und die Mächtigkeit der Schaumkalk-Folge gegeben. Außerdem ist der sogenannte Elmkalk in bergfeuchtem Zustand

leicht zu bearbeiten, erhärtet rasch und setzt über lange Zeiträume der Verwitterung Widerstand entgegen.

Zahlreiche Steinbrüche schufen ausgezeichnete Aufschlußverhältnisse, und auch heute noch ist ein Teil der aufgelassenen Brüche zugänglich. Im Gegensatz zu den Aufschlüssen der benachbarten Subherzynen Schmal- und Breitsättel wird auch jetzt noch in einigen Werksteinbetrieben des Elms gebrochen. Überdies

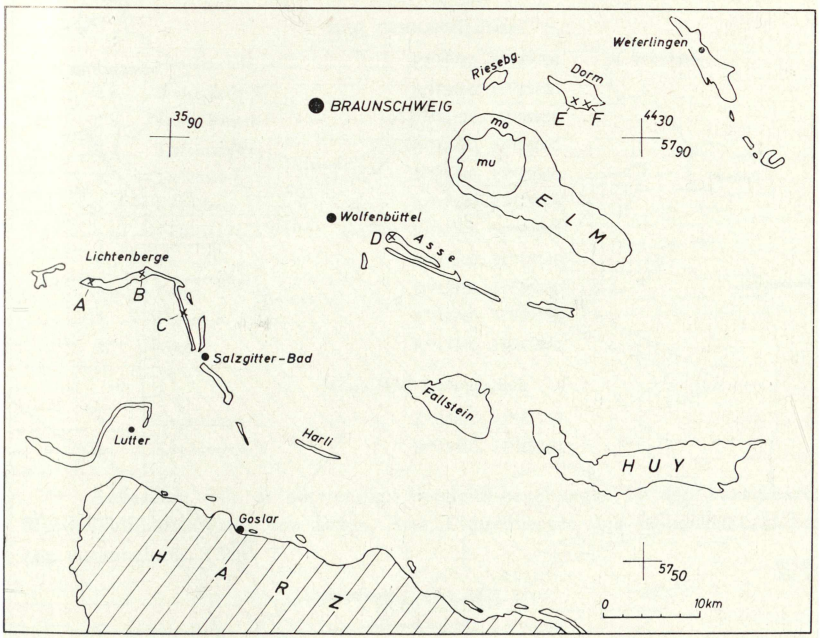


Abb. 1: Verbreitung des Muschelkalkes im westlichen Subherzynen Becken und die Lage der Vergleichsprofile. (Nach: Geol. Übersichtskarte von NW-Deutschland i. M. 1:300 000).

wurde durch das Zementwerk Hemkenrode ein fast 70 m mächtiges Profil im Unteren Muschelkalk angeschnitten (Abb. 3). Trotz dieser guten Aufschlußverhältnisse wurde dieses Gebiet geologisch bislang nur unzureichend bearbeitet.

Nur in den Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte von Preußen, Blatt Königslutter (HARBORT 1913) und in einer unveröffentlichten Dissertation von MURR (1957) wurde der Untere Muschelkalk des Elms eingehender berücksichtigt. Auf MURR geht auch der erste Versuch einer Parallelisierung der Elm-Profile zurück. Zur Stratigraphie des „Elmkalkes" nahm auch ZUNCKE (1957,

S. 59—61) vergleichend Stellung. Das tektonische Inventar wurde in einer regionalen Studie des Subherzynen Beckens von HARK (1955) behandelt.

Aus anderen Muschelkalkgebieten liegt dagegen besonders aus der Vorkriegszeit eine recht umfangreiche Literatur vor, die einerseits die Stratigraphie (FRANTZEN & KOENEN 1889, GRUPE 1908, R. WAGNER 1897 etc.) und

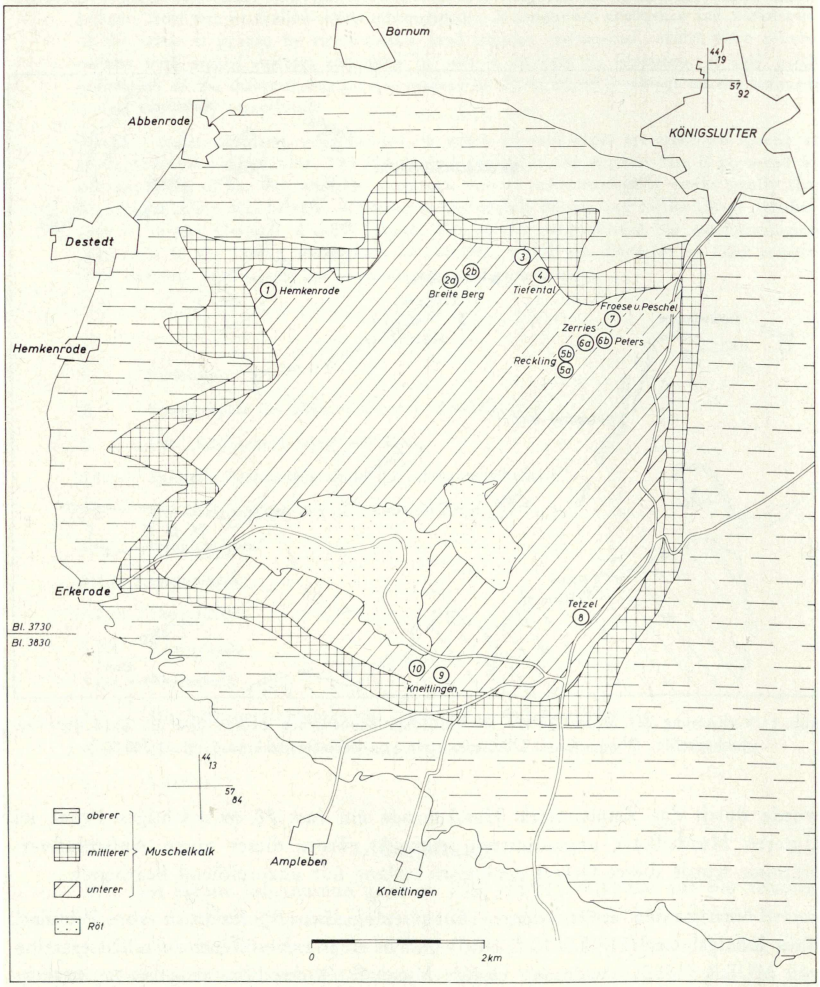


Abb. 2: Geologische Karte des westlichen Elms und die Lage der feinstratigraphisch aufgenommenen Aufschlüsse. (Nach: HARBORT 1913, WOLDSTEDT 1931.)

zum anderen auch schon die Bionomie (v. FREYBERG 1922, HERBIG 1931, HILDEBRAND 1928, REIS 1910, STRAUSS 1938, E. WAGNER 1923 etc.) zum Inhalt hat.

Die zur Zeit noch guten Aufschlüsse und die mit den übrigen Muschelkalkgebieten nicht immer übereinstimmenden Faziesverhältnisse im Elm ließen ergänzende Aussagen zur Ökologie und Sedimentation des Wellenkalkes erwarten. Daher wurden von uns in den Jahren 1967/68 die folgenden Elm-Aufschlüsse feinstratigraphisch aufgenommen (Abb. 2):

Mtbl. 3730 Königslutter

1.	Hemkenrode	$R^{44}13780$, $H^{57}89700$
2 a.	Breite-Berg-W	$R^{44}15900$, $H^{57}89800$
2 b.	Breite-Berg-E	$R^{44}16120$, $H^{57}89850$
3.	Tiefental-W	$R^{44}16720$, $H^{57}90000$
4.	Tiefental-E	$R^{44}17040$, $H^{57}89800$
5 a.	Reckling-S	$R^{44}17240$, $H^{57}88700$
5 b.	Reckling-N	$R^{44}17260$, $H^{57}88940$
6 a.	Zerries	$R^{44}17500$, $H^{57}89040$
6 b.	Peters	$R^{44}17700$, $H^{57}89020$
7.	Froese & Peschel	$R^{44}17760$, $H^{57}89320$
8.	Tetzel	$R^{44}17340$, $H^{57}85860$

Mtbl. 3830 Schöppenstedt

9.	Kneitlingen-E	$R^{44}15820$, $H^{57}85150$
10.	Kneitlingen-W	$R^{44}15460$, $H^{57}85260$

Außerdem war es notwendig, Vergleichsbegehungen in den benachbarten Muschelkalkaufschlüssen von Dorm, Asse, Lichtenbergen und Salzgitterer Höhenzug vorzunehmen (Abb. 1):

Lichtenberge, Mtbl. 3827 Lesse

A.	Bockern-Berg	$R^{35}82750$, $H^{57}76060$
B.	Brunstedter Berg	$R^{35}87520$, $H^{57}77100$
	Krux-Berg	$R^{35}88090$, $H^{57}77040$

Salzgitterer Höhenzug, Mtbl. 3828 Barum

C.	Gebhardshagen	$R^{35}91850$, $H^{57}74790$

Asse, Mtbl. 3829 Wolfenbüttel

D.	Gr. Denkte, Schraderscher Bruch	$R^{44}06350$, $H^{57}80620$

Dorm, Mtbl. 3731 Süpplingen

E.	Heineberg Weg	von $R^{44}23460$, $H^{57}93580$
		bis $R^{44}23770$, $H^{57}93660$
F.	Steinum-E	$R^{44}24240$, $H^{57}92940$

Für die Zukunft ist geplant, die Aufnahme und Interpretation des Unteren Muschelkalkes weiterzuführen und die Studien auch auf den Oberen Muschelkalk auszudehnen. Dankbar sind wir für freundliche Hinweise, die uns aus dem Kreise der VFMG-Mitglieder von Braunschweig, insbesondere von Herrn TÄUBER, zugegangen sind. Die Zeichnungen wurden in bewährter Weise von Herrn W. BÖNIG ausgeführt.

2. Stratigraphie des höheren Unteren Muschelkalkes

Seit FRANTZEN & KOENEN (1889) ist im südlichen Hannover eine Dreigliederung des Wellenkalkes in eine Oolith-, Terebratel- und Schaumkalk-Folge üblich, die auch bei KUMM (1941) in dem Standardwerk über die Trias Niedersachsens Verwendung fand. Im Verlauf der Neukartierung des Dorm-Rieseberg-Gebietes ergaben sich für ZUNCKE (1957) Schwierigkeiten, diese Gliederung praktisch anzuwenden. Er schlug deshalb eine Fünfgliederung vor, die jeweils 5 Basisfolgen mit überlagerndem Wellenkalk zur Grundlage hat. In jeder Basisfolge schied ZUNCKE 2—3 Bänke aus, und er läßt mit ihnen im Sinne FIEGEs (1938) jeweils einen neuen Zyklus beginnen[1]). Seine Gliederung und Symbole (1 a, 1 b bis 5 a, 5 b) wurden von HERRMANN (1964) und uns übernommen (Abb. 3). Dabei ergab sich eine ausgezeichnete Übereinstimmung zwischen den Profilen des Dorms, Elms und den von HERRMANN (1964) bearbeiteten Lichtenbergen. Wie die Abbildung 3 zeigt, lassen sich die 5 harten Bankfolgen der Serien 3 und 4 über mindestens 50 km hinweg sehr gut parallelisieren. Selbst die Wellenkalk-Zwischenmittel, die die harten Bänke voneinander trennen, bewahren über diese Entfernung hinweg ziemlich gleichbleibende Mächtigkeit.

Allem Anschein nach lassen sich diese Bankfolgen auch in Thüringen nachweisen, wie bereits ZUNCKE (1957) und JUBITZ (1959) andeuten. Eine besonders gute Faziesübereinstimmung im Bereich der Schaumkalkbänke scheint nach ZUNCKE mit dem Rüdersdorfer Muschelkalkvorkommen zu bestehen.

Die Basis der von uns bearbeiteten Folge ist im Steinbruch Hemkenrode erstmalig im Zusammenhang mit dem höheren Teil des Unteren Muschelkalkes der Serien 4 und 5 aufgeschlossen; und zwar ist unmittelbar auf der Grubensohle der charakteristische dolomitische Gelbkalk angeschnitten, der auch ZUNCKE, F. HERRMANN etc. als Leithorizont an der Grenze mu_2/mu_3 diente. Direkt über dem Gelbkalk lagert der geringmächtige, schwach gelb gefärbte 3 a-Horizont, der mit einem Hartgrund abschließt. Die durch ein gradiert geschichtetes Liegendkonglomerat besonders typische 3 b-Bank wurde auch von ZUNCKE (1957, S. 48) aus dem Dorm beschrieben und erweist sich damit ebenfalls als brauchbarer Leithorizont. Weniger charakteristisch ist die Bank 3 c, die offenbar im Profil der Lichtenberge nicht deutlicher hervortritt (HERRMANN 1964, Taf. 2).

1) Während die Schaumkalk-Folge des Elms in der früheren Gliederung der obersten „Zone" entsprach (u. a. HARBORT 1913, KUMM 1941, MURR 1957), gehört diese nach dem neueren Schema in die Serie 4.

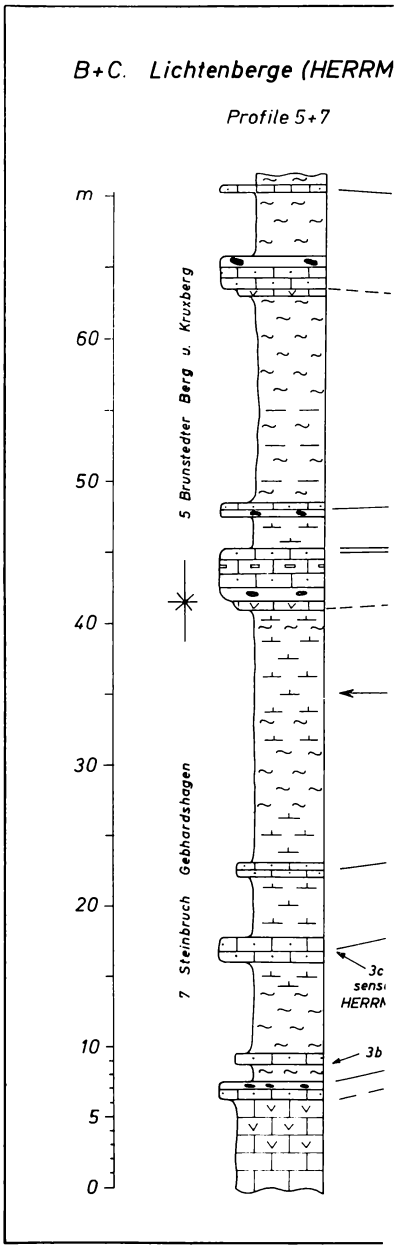


Abb. 3: Vergl
Becke

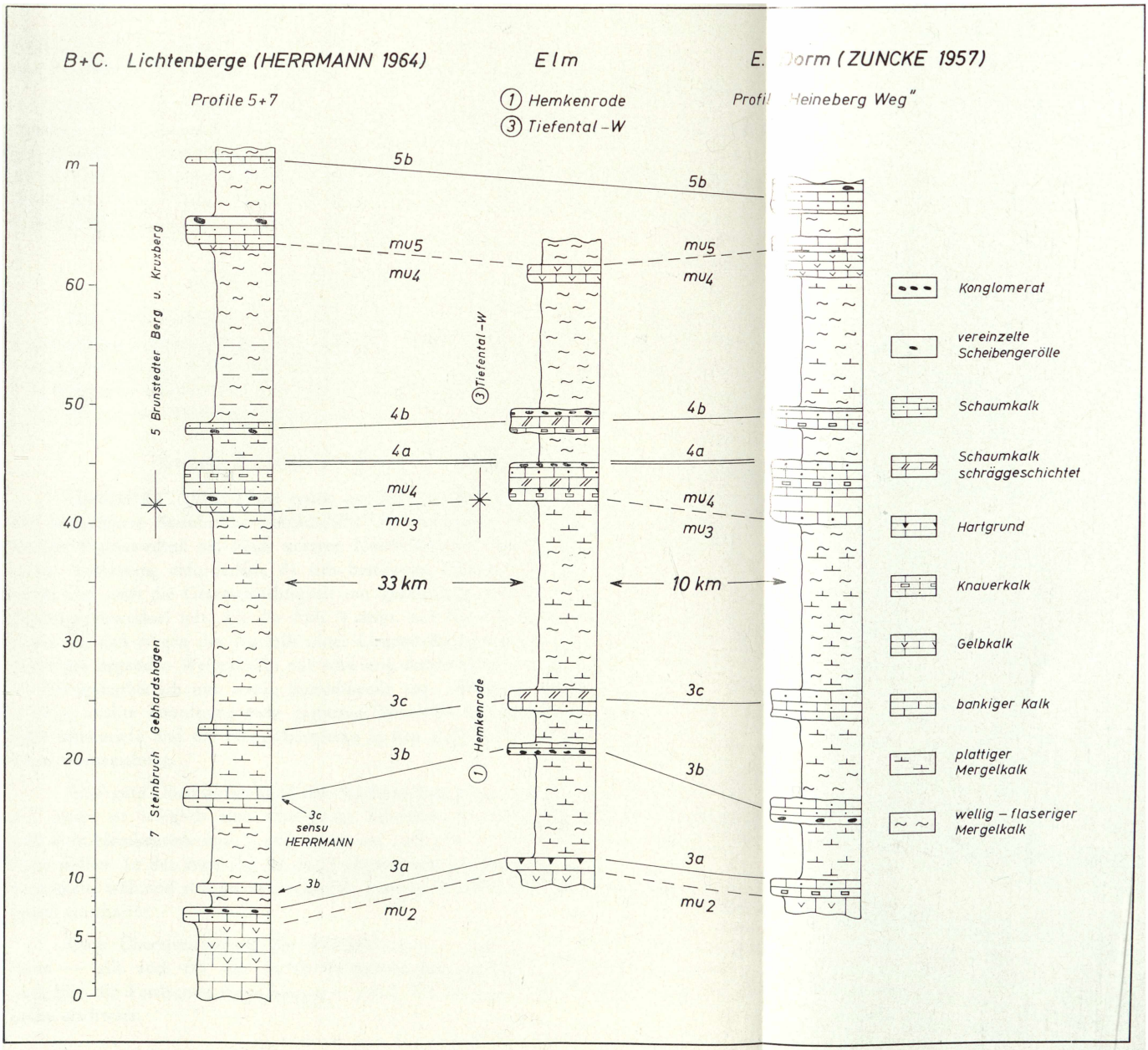


Abb. 3: Vergleichende Petrostratigraphie von 3 Muschelkalk-Profilen des westlichen Subherzynen Beckens. (Aufnahmen von HERRMANN und ZUNCKE z. T. vereinfacht.)

Die im Elm in zahlreichen Aufschlüssen angeschnittene Serie 4 bildet das eigentliche Untersuchungsziel der Arbeit und soll daher gesondert in den folgenden Abschnitten behandelt werden.

Die mu_4-Serie endet im Elm wie in Dorm und Lichtenbergen mit einem Gelbkalk. Dieser ist z. Z. nur in den Steinbrüchen Hemkenrode (1) und Tiefental (3) nahe der Geländeoberkante in stark verwittertem Zustand aufgeschlossen. Es ist fraglich, ob diesen Gelbkalken im Elm noch die eigentlichen *Orbicularis*-Bänke der Serie 5 folgen. Im Steinbruch Tiefental sind an Stelle der bankigen Kalke lediglich dünnplattige, dichte, schillführende, drusige Wellenkalke entwickelt.

3. Die „Schaumkalk-Serie" im Elm

Die Werksteinbänke 4a und 4b werden grundsätzlich von den gleichen Gesteinstypen aufgebaut. Das namengebende Gestein dieser Serie ist ein schaumig-poröser, oolithischer Kalkarenit. Daneben sind knauerige Kalke und die durch ihre Bohrgänge gekennzeichneten Hartgrundkalke verbreitet. Diese drei Gesteinstypen werden vor allem im Hangenden durch Konglomeratlagen begrenzt.

3.1. Spezielle Petrostratigraphie der „Schaumkalk-Serie"

HARBORT (1913, 1914) nahm auf Grund seiner Profilaufnahmen schon für benachbarte Steinbrüche beträchtliche Mächtigkeitsschwankungen und einen starken Fazieswechsel an. Nach unseren Untersuchungen ist jedoch eine Revision dieser Auffassung erforderlich, da sich bestimmte Horizonte durchaus verfolgen lassen und auch die Gesamtmächtigkeit nur geringfügig schwankt. Ein merklicher Mächtigkeitswechsel gilt, wie die Abb. 4 zeigt, nur für die 4a-Folge. Ein Grund dafür ist, daß wegen des Ausfalls eines Liegend-Konglomerates die Abgrenzung gegen die liegenden Wellenkalke nur schwierig durchzuführen ist. Stattdessen sind im Übergangsbereich nur wenig bezeichnende sog. „Übergangskalke" entwickelt, die eine exakte Zuordnung nicht gestatten. Weiterhin behinderte die unterschiedliche Abbautiefe und die Hangschuttdecke in den aufgelassenen Steinbrüchen eine klare Grenzziehung.

Eine gute Übereinstimmung der Mächtigkeiten zeigt dagegen die 4b-Folge. Bei dieser ist lediglich eine allmähliche Zunahme der Gesamtmächtigkeit von 1,90 m in Hemkenrode nach E und SE bis auf 2,40 bzw. 2,70 m (Aufschlüsse 7 u. 9) festzustellen. In der Asse und in den Lichtenbergen ist diese Bankfolge reduziert entwickelt, während sich im Dorm östlich Steinum (Profil F) ein Mergelzwischenmittel einschaltet.

Gute Übereinstimmung der Mächtigkeiten — bezogen auf den Gesamtraum — gilt auch für das 4a/4b-Wellenkalk-Zwischenmittel. Allerdings wird auch hier die Festlegung der Obergrenze durch Einschaltung plattiger Übergangskalke erschwert.

Konglomeratlagen:

Die besten Leithorizonte stellen im Elm die Hangendkonglomerate der 4a- und 4b-Folge dar. Besonders das 4b-Konglomerat schwillt in manchen Profilen ganz bedeutend an. Im Gegensatz dazu ist das 4b-Liegendkonglomerat nur in manchen Profilen vorhanden, und eine entsprechende Bildung fehlt der 4a-Serie überhaupt. Diese Konglomerate der „Schaumkalk-Serie" sind im östlichen Niedersachsen nur für den Elm ein markanter Bezugshorizont, denn die von F. HERRMANN und ZUNCKE als „Konglomerate" beschriebenen Bildungen sind mit den Elm-Konglomeraten kaum vergleichbar. Derartige, in einer Kalkmatrix isoliert schwimmende Einzelgerölle wurden in den Schaumkalken des Elms wiederholt beobachtet.

Schaumkalke:

Die Schaumkalke s. str. sind — verglichen mit den Konglomeratbänken — für die Feinstratigraphie weniger brauchbar. Abgesehen von Hemkenrode bleibt jedoch ihre Mächtigkeit und die Position einigermaßen konstant. Allerdings muß man für den Vergleich die in der Abb. 4 unterschiedlich signierten, teils schräg, teils horizontal geschichteten Kalke zu einem Leithorizont zusammenfassen.

Das Mengenverhältnis dieser beiden Schaumkalktypen wechselt in den Profilen stark. Mit Ausnahme von Hemkenrode unterlagert der Schaumkalk in allen Elm-Profilen fast unmittelbar das Hangendkonglomerat. Im unteren Teil der Werksteinbänke schiebt sich nur in einigen Aufschlüssen eine weitere Schaumkalkbank ein.

Hartgründe:

Hartgründe sind vornehmlich im unteren und mittleren Teil der 4a-Serie sowie im mittleren Teil der 4b-Serie verbreitet. Außerdem finden sie sich als Einzelhartgründe auch in anderen Profilabschnitten, wo sie etwa die Dachfläche der Schaumkalk- und Konglomeratbänke bilden[2]). Im Gegensatz zu den weithin horizontbeständigen Konglomeratlagen haben die Hartgründe meist nur lokale Bedeutung. Zwar sind einzelne, stark ausgeprägte Hartgründe im Aufschlußbereich verfolgbar, doch keilt die Mehrzahl der Lagen schon auf geringe Entfernung aus.

Eine Serie von mehreren dicht aufeinanderfolgenden Hartgründen stellt einen besseren stratigraphischen Richthorizont dar als der Einzelhartgrund. Dieses wird z. B. in der unteren 4a-Serie der nahe benachbarten Steinbrüche 4, 5 und 6 deutlich. Besonders gut zeigt sich die Übereinstimmung dieser Profile, wenn man die Hartgrundkalke mit den Knauerkalken zu einer Leitserie zusammenfaßt,

2) Aus zeichnerischen Gründen konnten in die Abb. 4 nicht alle vermessenen Hartgründe eingetragen werden.

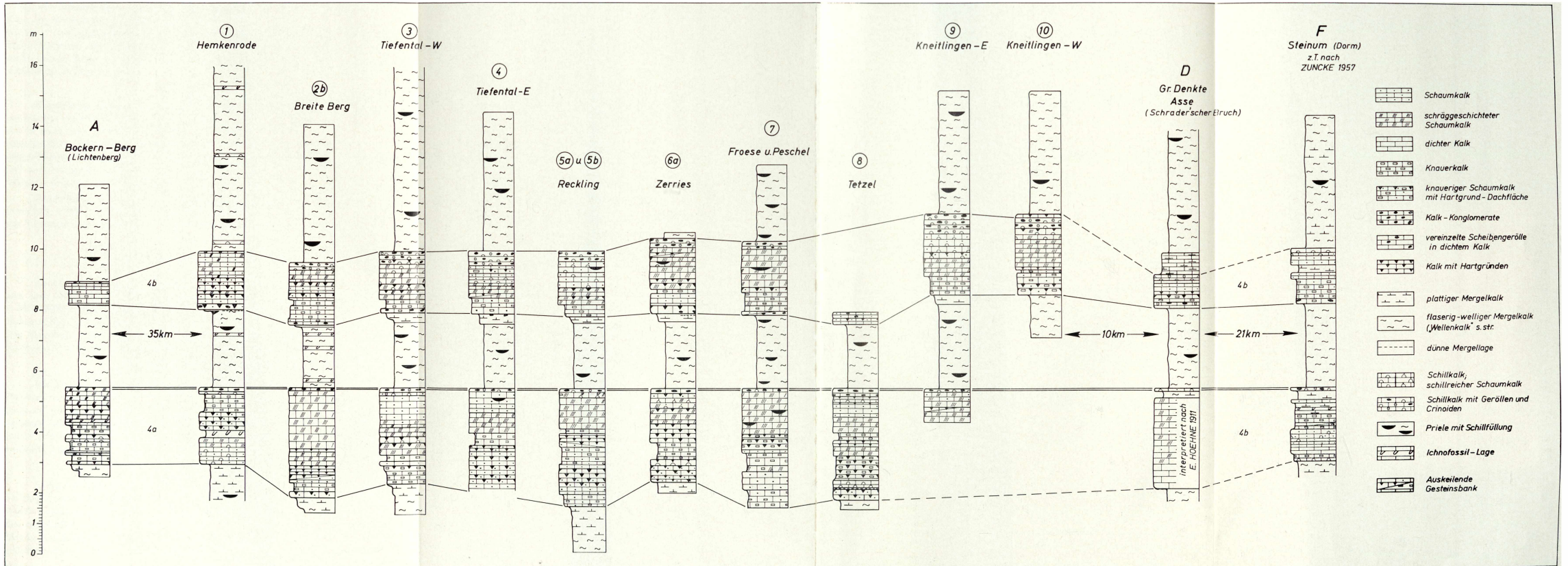


Abb. 4: Feinstratigraphie der „Schaumkalk-Serie" im Elm und Vergleichsprofile aus Dorm, Asse und Lichtenbergen (z. T. schematisiert, insbesondere bei der Darstellung dicht aufeinanderfolgender Hartgründe).

zumal eine Unterscheidung dieser beiden Typen ohnehin nicht immer leicht ist. Über die Verbreitung der Hartgründe in den benachbarten Gebieten ist wenig bekannt; vermutlich deshalb, weil die älteren Autoren diese Bildungen nicht weiter beachteten. Nach unseren eigenen Untersuchungen sind aber Hartgründe im Profil Bockern-Berg (A) durchaus vorhanden und treten gelegentlich auch im Profil Groß Denkte (D) auf.

Knauerkalke:

Knauerkalke finden sich wie die Hartgründe vornehmlich im unteren Teil der 4 a- und 4 b-Serie. Zuweilen kann man beobachten, daß die Knauerkalke seitlich in einen oder mehrere Hartgründe übergehen oder daß eng aufeinanderfolgende Hartgründe sich zu Knauerkalk-Bänken verdichten. Wegen dieser Übergangsbildungen ist eine Ansprache im Gelände oft nur schwierig durchzuführen (vgl. auch Hartgrund-Knauerkalke, S. 180). Der stratigraphische Wert der Knauerkalke wurde bereits im Zusammenhang mit den Hartgründen erläutert.

Knauerkalke in den Werksteinfolgen bleiben durchaus nicht auf den Elm beschränkt, sondern fanden sich in der gleichen stratigraphischen Position auch in den Steinbrüchen von Dorm, Asse und Lichtenbergen.

3.2. Die Gesteinstypen der „Schaumkalk-Serie"

3.2.1. Konglomerate (Taf. 2, Fig. 1—2)

Konglomerate wurden aus dem Unteren und Oberen Muschelkalk Thüringens und Frankens wiederholt beschrieben (R. WAGNER 1897, REIS 1910, v. FREYBERG 1922, STRAUSS 1938, MÜLLER 1955 u. a.). Für das Subherzyne Becken stellen die Liegend- und Hangendkonglomerate der Werksteinbänke aber eine Besonderheit dar. Auch dem Steinbrucharbeiter sind die Konglomeratlagen wohlbekannt und werden seit altersher als „Fuchs" bezeichnet.

Mächtigkeit:

Die Dicke der Konglomeratbänke beträgt im Durchschnitt 10—20 cm; im Maximum erreicht sie, wie im Steinbruch 9, etwa 80 cm, wobei die Gerölle allerdings nur einem linsenförmig anschwellenden Schillkörper beigemengt sind. Andererseits kann sich die Dicke soweit verringern, daß nur noch ein Pflaster aus isoliert gelegenen Geröllen verbleibt. Schließlich kann das 4 b-Liegendkonglomerat auskeilen, was bereits im Steinbruchsbereich erkennbar ist (Steinbruch 7).

Geröllbestand:

Es handelt sich hier ausschließlich um Kalkgerölle; exotische Gerölle fehlen. Sie gingen aus aufgearbeitetem Muschelkalk hervor und stellen damit infraformationale Konglomerate im Sinne PETTIJOHNs (1957) u. a. dar. Die Gerölle werden vornehmlich aus einem dichten Kalk von wechselnd grauer Farbe aufgebaut. Manche Konglomerate, wie z. B. das 4 b-Liegendkonglomerat, führen nahezu ausschließlich diesen Gerölltyp. Andere, wie das 4 a-Hangendkonglomerat, enthalten

einen beträchtlichen Anteil an rötlichgrauen bis intensiv rotbraunen Geröllen (s. S. 175). Auch diese sind vorwiegend dicht struiert, doch ist verschiedentlich ein wechselnder Anteil an schaumig-oolithischen und zuweilen schillhaltigen Scheibengeröllen beigemengt.

Geröllgröße und Geröllform:

Die größten von uns vermessenen Gerölle erreichen einen maximalen Durchmesser von 12 cm. Im Durchschnitt beträgt die größte Länge 2—3 cm; jedoch bestehen alle Korngrößenübergänge zur Geröllmatrix. Die Dicke der Gerölle ist entsprechend ihrer scheibenförmigen Gestalt sehr gering. Typisch sind Beträge von 0,5—1 cm, doch kommen auch mm-dünne Plattengerölle vor. Die Kanten der Gerölle sind verschieden gut gerundet, so daß sich im Querschnitt häufig eine plankonvexe Form ergibt. In der Aufsicht erscheinen sie unregelmäßig bis discoid, nicht selten auch stengelig geformt. Unregelmäßig gestaltete Gerölle treten vornehmlich bei dichterer Packung auf, während die isoliert angeordneten Gerölle eine höhere Zurundung erreichen. Für die Art des Transportes besonders charakteristisch sind die auf den Dachflächen der Konglomeratbänke häufigen Stengelgerölle, deren Stengelindex ziemlich niedrig sein kann. Beispielhaft dafür sind einige Stengelgerölle aus dem 4 b-Dachkonglomerat des Steinbruchs 7 (Länge : Breite = 12 : 3,5 cm = 3,4; 6,6 : 3,1 cm = 2,1; 12,0 : 5,8 cm = 2,0).

Genetische Bedeutung haben darüber hinaus einzelne bruchlos deformierte, randwärts gebogene Gerölle. Als Sonderfall haben die Gerölle des 3 b-Liegendkonglomerates zu gelten, die eine ausgesprochene Walzenform erreichen können. Diese treten allerdings nur im tiefsten Teil des Konglomerates auf, während darüber gradiert geschichtete Plattengerölle folgen (Taf. 4, Fig. 3).

Eine Vermessung der Gerölle ist wegen der festen Verkittung mit der Matrix nur schwierig durchzuführen. Die bisherigen Meßwerte deuten darauf hin, daß der Zurundungsindex im Bereich der Dachfläche größer ist als darunter. MURR (1957, S. 42 ff.), der durch Parallelschnitte die Geröllform zu ermitteln trachtete, kam zu ähnlichen Ergebnissen.

Geröllmatrix und Schillanteil:

Die Gerölle zeigen nur selten eine dichte Packung; vielmehr sind sie fast immer in eine Schill- oder Schaumkalkmatrix eingebettet, wobei die Schillmatrix bedeutend vorwiegt. Der Schillanteil kann auf Kosten des Geröllbestandes bis zur Ausbildung von reinen Schillbänken ansteigen. Fast immer handelt es sich um einen nach Größe und Bestand gut sortierten Bruchschill. Zahlreich eingestreut in den Bruchschill des 4 b-Hangendkonglomerates sind Stielglieder von *Encrinus carnalli, E. brahlii* und *Entrochus dubius.* Besonders bedecken sie die Basis- und Dachflächen, wobei Stielfragmente von einigen cm Länge erhalten sein können.

Anbohrungen und Bewuchs:

Zahlreiche Gerölle sind angebohrt und von Epibenthonten bewachsen. Das gilt nicht nur für die Oberseite der Dachgerölle, sondern auch für die Gerölle im

Bankinnern. Häufig hat die Epi- und Endofauna die Plattengerölle allseitig befallen, wie die ringsum aufsitzenden Placunopsiden und die zahllosen Bohrgänge von *Trypanites weisei* u. a. belegen.

Karrenbildung und Rotfärbung:

Außer den Anzeichen einer organischen Tätigkeit zeigen die Gerölle z. T. Anlösung, Korrosion und schließlich sogar Karrenbildungen. Die Oberfläche der Gerölle erhält dadurch ein rauhes, mit kleinen Dellen und Kratern übersätes Aussehen (Taf. 6, Fig. 3). Auch diese nur mm-tiefen, gerundeten Anätzfiguren bedecken beidseitig die Plattengerölle und sind damit für die Deutung des Sedimentationsraumes wichtig.

Die eingangs erwähnte Rotfärbung der Gerölle betrifft nach Dünn- und Anschliffuntersuchungen teilweise auch das Geröllinnere. Vielfach ist jedoch das farbgebende, fein verteilte Eisenoxid in den oberflächennahen Bezirken der Gerölle konzentriert. Die die Geröllform nachzeichnenden Färbungsringe geben einen klaren Hinweis auf die sekundäre Natur dieser Färbung, die sich erst nach der Geröllbildung, aber vor deren endgültiger Einbettung vollzog. Letzteres wird sichtbar, da die Färbungshöfe einiger Gerölle gekappt sind und damit einen nachträglichen Transport beweisen.

Deutung:

Die Scheibengerölle wurden von HARBORT (1913, S. 15) „als konkretionäre Bildungen eines dichten Kalkes in einer porösen Grundmasse" aufgefaßt. Alle übrigen Autoren ziehen jedoch die Geröllnatur nicht in Zweifel (v. FREYBERG, 1922; MÜLLER, 1955; MURR, 1957 u. a.). Umstritten ist allerdings der Verhärtungsgrad der Gerölle zur Zeit ihrer Entstehung.

Nach unserer Meinung beweisen die oben beschriebenen, randlich aufgebogenen Gerölle die weiche Konsistenz und die schlickähnliche Natur des Muttergesteins. Ob die große Mehrzahl der Gerölle allerdings als ursprünglich plastische Schlickgerölle zu deuten sind, mag dahingestellt bleiben, denn für die Tätigkeit der Epi- und Endobenthonten war bereits ein stärker verfestigtes Substrat erforderlich. Eine mehrfache Umlagerung und längere (submarine!) Freilage geht aus den allseitig bewachsenen und angebohrten Geröllen hervor, da das Benthos zu seinem Heranwachsen eine bestimmte, von MÜLLER (1955, S. 33) näher errechnete Zeitspanne benötigte.

Bemerkenswert ist außerdem die Notwendigkeit eines wiederholten Trockenfallens der beidseitig mit Karren bedeckten Gerölle. Zudem sind die korrodierten Gerölle in der Regel durch Rotfärbung gekennzeichnet, und es ist anzunehmen, daß auch diese auf subaerische Bedingungen zurückzuführen ist[3]).

Ähnliche Sedimentationsverhältnisse mit häufigen Umlagerungen und zeitweiligem Trockenfallen charakterisieren den rezenten Wattenbereich. Dort ent-

3) Nach freundlicher Mitteilung von Herrn Dr. LÜTTIG (Hannover) können aus der Karrenbildung auch Rückschlüsse auf die klimatischen Verhältnisse der Muschelkalkzeit gezogen werden.

stehen ebenfalls die nach Form und Ausbildung sehr ähnlichen Schlickgerölle (HÄNTZSCHEL, 1936, S. 350), die im Schlickwatt gebildet und durch Prielströmungen transportiert werden. Abweichend von den dort beschriebenen Verhältnissen gilt für die Elm-Konglomerate eine flächenhafte Verbreitung bei relativ konstanten Ablagerungsbedingungen. Die rezenten Bildungen sind nach HÄNTZSCHEL durch ihre eher lineare Verbreitung und die Beschränkung auf Priele und deren Mündungen gekennzeichnet.

Ein Prieltransport der Muschelkalk-Gerölle ist belegbar durch die häufig sehr niedrigen Stengelindizes, die nach LÜTTIG (1962, S. 387) nur durch einen den Flußunterläufen vergleichbaren Transport bewirkt sein können, während echte marine Gerölle sich durch eine hohe Zurundung und nur mäßige Abplattung auszeichnen.

Nicht alle Elm-Konglomerate sind in einem einmaligen Schüttungsakt entstanden. Vielmehr verlief der Absatz mehrphasig, da dickere Konglomeratbänke aus mehreren übereinanderliegenden Schüttungskörpern bestehen (Taf. 2, Fig. 1).

Grundsätzlich anderer Entstehung ist vermutlich das 3b-Liegendkonglomerat, das sich durch eine mehrfach wiederholte Gradierung von den übrigen Konglomeratbänken unterscheidet (Taf. 4, Fig. 3); an dessen Basis liegen die bereits beschriebenen Walzengerölle, die nach oben in allmählich kleiner werdende Plattengerölle übergehen. Für diese Konglomeratbildungen ist ein Absatz aus periodisch sich überlagernden Suspensionsströmen zu diskutieren (PETTIJOHN, 1957, S. 277).

Schließlich ist zu überlegen, welcher Gesteinstyp des Unteren Muschelkalkes das Muttergestein der infraformationalen Konglomerate gewesen ist. Der einzige Gesteinstyp mit echtem Wattencharakter ist, wie später noch eingehender belegt werden soll, der Wellenkalk im engeren Sinne. Dieser weist auch die für die Mehrzahl der Gerölle typische dichte Struktur, die graue Farbe und die notwendige Dünnplattigkeit auf. Gemäß ihrer dichten Struktur könnten ebenfalls die Hartgrundkalke in Betracht gezogen werden. Doch erscheint dieses auf Grund ihrer Stellung im Faziesraum und ihrer Dickplattigkeit (ausgenommen „Rippelhartgründe", S. 178) wenig wahrscheinlich. Außer einer Wellenkalk-Abkunft kommt aber für einen Teil des Geröllmaterials aus den Hangendkonglomeraten auch eine Aufarbeitung aus den Schaumkalkbänken in Frage, da die dichten grauen Gerölle häufig mit oolithisch struierten vergesellschaftet sind.

Der Transportweg kann auf Grund der teilweise schlechten Zurundung und der Kalknatur der Gerölle nur relativ kurz gewesen sein. Das Fehlen analoger Konglomerate im benachbarten Subherzyn läßt vermuten, daß als Entstehungsort eine Untiefe in unmittelbarer Nähe anzunehmen ist.

3.2.2. Schaumkalk (Taf. 1, Fig. 2)

Der Anteil des meist dickbankigen Schaumkalkes erreicht im Durchschnitt $^1/_3$ bis $^1/_2$ der Gesamtmächtigkeit der Werksteinbänke; jedoch unterliegt seine

Mächtigkeit beträchtlichen Schwankungen. Maximale Werte liegen im Profil 2b mit 2,50 m schräggeschichtetem Schaumkalk vor. Die geringsten Beträge wurden im Steinbruch Steinum-E (F) ermittelt.

Struktur und Textur:

Neben horizontal geschichteten Partien zeigt der Schaumkalk alle Übergänge zu schwach bis stark geneigten Schüttungsgefügen (vgl. S. 184), wobei der Anteil an schräggeschichtetem Schaumkalk einem raschen Wechsel unterliegt. Bereits im Steinbruchbereich können die schräggeschichteten Körper auskeilen und in bankigen, ungeschichteten Schaumkalk übergehen.

Die Schichtung wird bedingt durch Unterschiede in der Korngröße und in der Zusammensetzung. Zumeist besteht ein deutlicher lagenweiser Wechsel von mm-starken, dunklen Bänkchen und etwas dickeren, helleren Partien[4]). Die dunklen Lagen zeichnen sich durch etwas größere Härte aus und treten durch die Verwitterung leistenartig hervor (Taf. 1, Fig. 2). Dünnschliffe zeigen, daß sie eine geringere Korngröße und dichtere Packung bei stärker detritogenem Anteil aufweisen. Die schaumig-porösen Partien sind demgegenüber ärmer an klastischen Bestandteilen und setzen sich fast ausschließlich aus Ooidmaterial zusammen. Durch Umkristallisation ging die ursprüngliche Textur der Ooide verloren. Sie zeigen einen feinkristallinen Aufbau, während das kalkige Bindemittel gröber struiert ist. Die Trennung der hellen und dunklen Lagen mag z. T. durch Lösungsumsatz im Verlauf der Diagenese betont worden sein (Taf. 2, Fig. 3).

Schillanteil:

Der Schillanteil[5]) des Schaumkalkes wechselt stark. Außer nahezu schillfreien Kalken gibt es lagenweise Schill führende und schließlich reine Schillkalke. Bei mäßigem Schillanteil liegen die isolierten Klappen der Zweischaler fast ausschließlich in „gewölbt-oben-Stellung" vor und sind gemäß ihrer Schalenform eingesteuert. Bei starker Schillführung ist die Anordnung der Schalen wesentlich wirrer, und in extremen Fällen wurde eine Verschachtelung und senkrechte Anordnung der Klappen beobachtet (vgl. MÜLLER 1950, Taf. 1).

Der Schalenschill besteht im wesentlichen aus Muscheln, seltener aus Brachiopoden und Gastropoden. Letztere, die zumeist den Gattungen *Omphaloptycha*, *Turbonilla* und *Undularia* angehören, sind vielfach lagenweise konzentriert.

Vereinzelt liegen dem Schaumkalk graue Scheibengerölle eingestreut. Ihr Ursprung geht vermutlich auf aufgearbeitete „Rippelhartgründe" zurück (siehe S. 178).

---

4) In den oberen Teilen der Schaumkalkbänke tritt neben einer laminierten zuweilen auch eine Flaserschichtung auf.

5) Wenn hier der Ausdruck „Schill" verwandt wird, so ist zu beachten, daß es sich nur in seltenen Fällen um Schill in Schalenerhaltung handelt. Vielmehr liegen die Fossilreste durchweg als Hohlformen vor.

3.2.3. Hartgründe (Taf. 3, Fig. 1—3, Taf. 5, Fig. 2)

Aus dem Wellenkalk wurden zwar wiederholt Emersionsflächen und Bohrhorizonte beschrieben, doch wurde deren Häufigkeit, flächenhafte Verbreitung und scharfe Abgrenzung bislang nicht hinreichend herausgestellt. Im Arbeitsgebiet nehmen Hartgründe einen ziemlich bedeutenden Anteil am Aufbau der Werksteinbänke. Je nach dem Bildungsort und dessen vorgegebener Morphologie lassen sich verschiedene Hartgrundtypen unterscheiden:

1. Konkordante Hartgründe: Ist der Meeresboden eben, so setzt sich ihm ein ungefähr gleichbleibend dicker Hartgrund auf, der größere Flächen einnimmt und sich im Aufschlußbereich zumindest über mehrere Dekameter verfolgen läßt. An den Rändern setzt dieser Hartgrundtyp meist schroff gegen das Nebengestein ab (Taf. 3, Fig. 2—3). Oft kommt es bei diesem Typ zu einer mehrfachen, raschen Aufeinanderfolge ohne Einschaltung von Zwischenmitteln, wobei dann nach Struktur und Mächtigkeit gewisse Ähnlichkeit mit den Knauerkalken besteht. Ein besonders schönes Beispiel für eine Hartgrundfolge bietet uns der Steinbruch 6a, in welchem in der unteren Werksteinbank auf einen Abstand von 60 cm 7 Hartgründe entfallen.

Konkordante Einzelhartgründe (sog. Dachhartgründe) bilden häufig die Deckplatten der Konglomerat- und Schaumkalkhorizonte. Speziell die angebohrten Dachflächen der Hangendkonglomerate finden sich regelmäßig in allen Steinbrüchen wieder (in Abb. 4 nicht eingetragen!).

2. Diskordante Hartgründe: Sofern die Hartgründe die Ausfüllung von Rinnen und Rippeln bilden, zeigen sie einen zum Liegenden konvexen Bau, der die Erosionsform nachzeichnet und mit einer ebenen Dachfläche abschließt, so daß die größte Dicke im Zentrum liegt.

Ein Grenzfall dieses Typs bildet sich in einem im Schaumkalk angelegten Rippelfeld aus, dessen Rippeln unvollständig gefüllt sind, und bei denen sich linsenförmige Kleinkörper arkadenförmig aneinanderreihen (sog. „Rippelhartgründe") (Taf. 3, Fig. 1). Außer diesen linsenartigen Hartgründen gibt es platenförmige, die sich als diskordante Körper den Schrägschichtungsblättern auflegen. Dieser Typ hat demgemäß eine ebene Unterseite. Je nach Ausdehnung der Erosionsform besitzen die diskordanten Hartgründe zumeist nur sehr begrenzte Größe. Oft handelt es sich nur um wenige dm große Platten, die von uns als „Inselhartgründe" bezeichnet wurden. Solche Inselhartgründe treten in gewissen Niveaus, wie z. B. im mittleren 4a des Steinbruches Reckling-S, ziemlich regelmäßig auf und fanden sich auch in den benachbarten Steinbrüchen wieder.

Dach- und Sohlfläche:

Die obere Begrenzung der Hartgründe ist überall scharf und deutlich ausgeprägt, während die Liegendgrenze zwar häufig ebenfalls scharf ist, in anderen Fällen aber Übergänge zum Liegenden erkennen läßt.

Struktur:

Die Hartgründe bestehen im Gegensatz zum kalkarenitischen Schaumkalk für gewöhnlich aus feinem kalkpelitischem Material, das makroskopisch dicht erscheint. Oolithische Struktur wurde in Dünnschliffen nicht gefunden.

Anbohrungen:

Die Dachfläche der Hartgründe ist für gewöhnlich in charakteristischer Weise angebohrt. Die Bohrlöcher blieben dabei im allgemeinen unausgefüllt, so daß die Hartgründe an den Steinbruchwänden durch ihre Lochstruktur deutlich hervortreten. Vor allem sind cm-große unregelmäßig geführte Bohrgänge verbreitet, die bis zur Liegendfläche der Hartgründe geführt sein können und wahrscheinlich auf *Balanoglossites* zurückzuführen sind. Es kommen allerdings auch Hartgründe vor, die keinerlei Anbohrungen aufweisen, vermutlich weil sie schon bald nach ihrer Entstehung wieder überdeckt wurden.

Umgelagerte Hartgründe:

„Inselhartgründe" oder auch zerbrochene Hartgründe können sich gelegentlich vom Untergrunde lösen und allochthon durch Rutschung oder Strömungstransport in andere Sedimente eingelagert werden. Diese Hartgrundplatten zeigen dann des öfteren beidseitig angelegte *Trypanites*-Anbohrungen und Bewuchs durch *Placunopsis, Spirorbis valvata* etc. Besonders schön zeigt dies eine linsenförmige, rundliche Platte von etwa 40 cm Durchmesser aus dem Steinbruch Hemkenrode. Eine Umlagerung derart großer Platten kann nach den Erfahrungen in rezenten Meeren wohl nur durch Unterspülung im Brandungsbereich erfolgen.

Deutung:

Wie für die von VOIGT (1959) aus der Oberkreide NW-Europas behandelten Hartgründe gilt auch für die Hartgründe des Muschelkalkes eine frühzeitige Verfestigung. Das ist eindeutig aus den unverdrückten Bohrgängen, der Bohrtätigkeit selbst und dem sessilen Benthos-Bewuchs *(Placunopsis, Serpula,* Crinoiden-Rhizome etc.) auf den Dachflächen abzulesen.

Nach HERBIG (1931, S. 98 ff.), HILDEBRAND (1928, S. 21) u. a. ist die Verhärtungsgeschwindigkeit einerseits von der Höhe des Kalkgehalts, andererseits von der Korngröße abhängig. Je feinkörniger und kalkreicher ein Kalkpelit ist, desto rascher vollzieht sich dessen Verfestigung. Beide Bedingungen sind für die dichten Hartgrundkalke des Elms erfüllt. Die Verhärtung mag weiterhin auch durch zeitweiliges Trockenfallen beschleunigt worden sein, welches ohnehin durch andere Beobachtungen gestützt wird (siehe S. 189). Das feinpelitische Material kam in Zeiten ruhiger oder verlangsamter Sedimentation bei verringerter Strömungsintensität zum Absatz. Bevorzugt füllte der Kalkpelit morphologische Vertiefungen auf dem Meeresboden aus, wie besonders gut aus den auf S. 178 beschriebenen „Rippelhartgründen" hervorgeht. Die Länge der jeweiligen, für die

Hartgrundentstehung notwendigen Sedimentationsunterbrechungen kann nach MÜLLER (1950) annähernd mit Hilfe des Lebensalters der sessilen Benthonten berechnet werden.

3.2.4. Knauerkalk (Taf. 4, Fig. 1—2)

In der Literatur werden Knauerkalke aus dem Unteren Muschelkalk häufiger genannt (HILDEBRAND 1928, HERBIG 1931 u. a.). Auch in den Elm-Profilen haben die Knauerkalke eine nicht unwesentliche Verbreitung. Ihre Mächtigkeit schwankt von 10 cm bis zu maximal 60 cm (Steinbruch Hemkenrode). Das Aussehen der Knauerkalke zeigt gewisse Ähnlichkeit mit entsprechenden Bildungen anderer Formationen, besonders mit den Kramenzelkalken des deutschen Oberdevons. Bläuliche, unregelmäßig geformte Kalkknollen sind in eine mergelreichere Grundmasse eingelagert. Der Gehalt an Knauern ist unterschiedlich; neben knauerarmen, aber mergelreichen Bänken kommen fast ausschließlich aus Knauern bestehende Lagen vor. Die Knauern sind wie in anderen Knollenkalken z. T. lagenweise angeordnet.

Unter dem Mikroskop zeigt sich, daß die Knauern zumeist aus einem sehr feinkörnigen, dichten, meist fossilfreien Kalk bestehen, während die umgebende Substanz häufig gröber struiert und porös ist und einen höheren Gehalt an Detritus aufweist. Oft werden die Knauern allseits von einem schmalen Detritus-Saum eingehüllt. Seltener weisen auch die Knauern eine gröbere Struktur auf und sind aus einer durch Porencalcitisierung verdichteten Schaumkalksubstanz und Übergängen zu dieser zusammengesetzt. In den Knauerkalkhorizonten sind vertikal und horizontal angeordnete Styliolithen ausgesprochen verbreitet, was einen Hinweis auf ihre Genese zuläßt.

Genese:

Über die Genese der Knauerkalke besteht eine umfangreiche Literatur. Offensichtlich handelt es sich auch bei den mu-Knauerkalken vorwiegend um diagenetische Bildungen, die auf eine frühzeitige Entmischung und einen Lösungsumsatz in einem Kalk-Ton-Gemenge zurückzuführen sind. Zweifelhaft ist, ob ursprünglich ein Gemenge gleichartiger Zusammensetzung vorlag oder ob schon primär gewisse kalkreichere Partien vorgezeichnet waren, die später die Zentren der Knollenbildungen darstellten. Für diesen Befund sprechen einige dünne Kalklagen in den Knauerkalken, die durch schmale Lösungstrichter zerlegt werden (Taf. 4, Fig. 1). Es ist anzunehmen, daß die Knauerbildung gemeinsam mit der Anlage der Styliolithen bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt der Diagenese erfolgte. Das beweisen auch die in Schliffen beobachteten Styliolithen in Geröllen der Konglomerathorizonte, deren Anlage der Geröllaufarbeitung vorausging.

Einen Grenzfall des Gesteinstyps stellen die zwischen Hartgründen und Knauerkalken vermittelnden sog. „Hartgrund-Knauerkalke" dar (Taf. 4, Fig. 2). Durch ihre mannigfachen Anbohrungen bestätigen sie einerseits ihre

Hartgrundnatur, durch ihre knauerig, dichte Struktur die Knauerkalk-Verwandtschaft. Dieser Gesteinstyp verdankt seine Entstehung einer sehr frühzeitig erfolgten Verhärtung der Sedimentoberfläche, während die vordem beschriebenen Knauern erst im Sediment gebildet wurden. Derartige Grenzbildungen sind eindeutig nur im Anschliff anzusprechen und machen durch ihren Übergangscharakter deutlich, wie schwer im Gelände eine Trennung der Gesteinstypen zu vollziehen ist.

3.2.5. Wellenkalk

In typischer Wellenkalkfazies liegt das Zwischenmittel vor, das die beiden Werksteinbänke voneinander trennt (Taf. 1, Fig. 1). Grundsätzlich ist die im Hangenden und Liegenden dieser Bänke auftretende Wellenkalkfolge petrographisch ganz ähnlich aufgebaut; daher können wir uns im folgenden weitgehend auf die Darstellung dieser Zwischenschichten beschränken. Auch innerhalb dieser geringmächtigen Folge sind schon die wesentlichen für den Wellenkalk charakteristischen Gesteinstypen vertreten: einmal dünnplattige, dichte, ebenflächige Kalke, zum anderen wellig-flaserige, dünne Mergelkalklagen und schließlich Mergellagen, die sich beiden zwischenschalten.

Fossilien:

Schalenfossilien wurden zumeist in Prielen zusammengeschwemmt; allgemein verbreitet sind nur Ichnofossilien. Diese sind zuweilen in geringmächtigen, mergeligen Lagen ganz außerordentlich häufig und wurden dann als Ichnofossil-Lagen gesondert bei der Profilaufnahme ausgeschieden. Die Lagen besitzen jedoch nur geringen stratigraphischen Wert, da sie gewöhnlich schon innerhalb der Steinbrüche enden. Bei den Ichnofossilien handelt es sich vorwiegend um Spreitenbauten vom Typus *Rhizocorallium*. Diese Tiere legten ihre Bauten nur in mergeligen und kalkig-mergeligen Sedimenten an, in den Schaumkalkbänken wurden sie nicht beobachtet. Sobald die Rhizocorallien die schon verhärteten Dachflächen der Hangendkonglomerate erreichten, breiteten sie sich auf diesen söhlig aus.

Schalenfossilien bleiben fast ausschließlich in Schill- oder Bruchschillerhaltung auf Priele und rasch auskeilende Kalkbänkchen beschränkt. Dieser Befund ist besonders für die ökologische Deutung zu berücksichtigen.

„Blaukalk"[6]):

Während normalerweise der Wellenkalk gelbgrau gefärbt ist, ist er in den tieferen Profilteilen von Hemkenrode in verschiedenen Horizonten von auffallend blaugrauer Farbe. Die Blaufärbung ist nicht immer horizontbeständig, sondern

6) Über Blaukalk-Vorkommen im Unteren Muschelkalk wurde schon wiederholt berichtet (HERBIG 1931, HILDEBRAND 1928 u. a.). Es scheint fraglich, ob es sich bei den dort genannten Kalken um stratigraphisch wie lithologisch analoge Bildungen handelt.

kann um mehrere Meter in der Vertikalen verspringen. Nahe der Oberfläche und entlang von Störungen kommt es sekundär zur Entfärbung. Insgesamt sind im mu_3 vier „Blaukalk"-Horizonte oberhalb der Steinbruchsohle in folgender Profilhöhe und -mächtigkeit aufgeschlossen:

Hangendes	
Blaukalk 4:	20,30—23,80 m
Blaukalk 3:	11,00—14,40 m
Blaukalk 2:	5,40— 7,20 m
Blaukalk 1:	1,50— 2,75 m

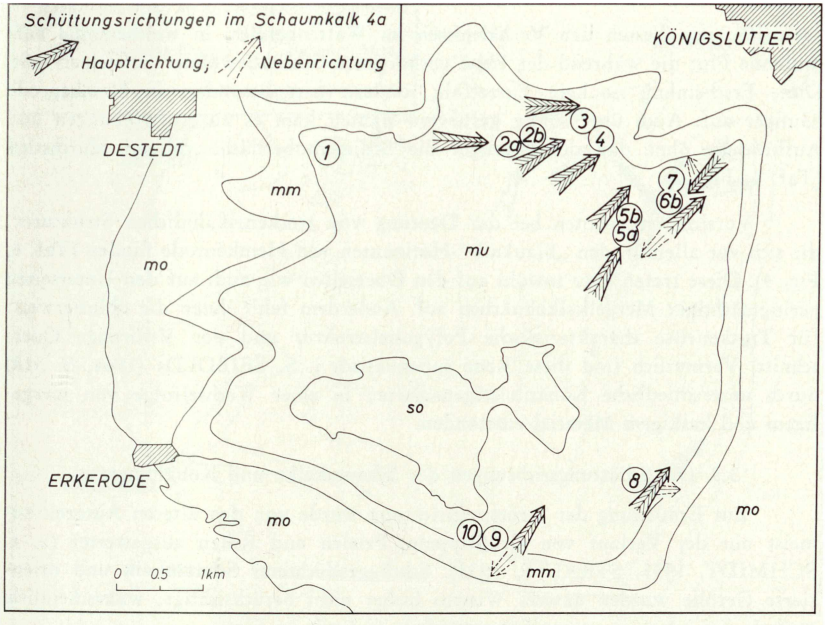
Eine Aussage über die regionale Verbreitung dieser Horizonte ist nicht möglich, da keine weiteren Brüche im Elm dieses Niveau erschließen. Im Vergleich zum vorher beschriebenen Wellenkalk zeichnet sich der „Blaukalk", abgesehen von der Blaufärbung, durch seinen bedeutend größeren Schalenreichtum aus. Die Mollusken und Brachiopoden sind nicht nur in den dichten Kalken als Schill- oder Bruchschill vertreten, sondern finden sich auch in den wellig-flaserigen Kalken in unzerbrochenem Zustand und Schalenerhaltung. Der größere Gehalt an Schalen- und Ichnofossilien mag auch für die stärkere Bitumenführung und die damit verknüpfte Blaufärbung verantwortlich sein. Keineswegs ist aber HERBIGs (1931, S. 79) Ansicht zuzustimmen, der die Blaufärbung auf euxinische Sedimentationsbedingungen in tieferem Wasser zurückführte. Dagegen spricht allein schon die üppige Entwicklung der Ichnofauna.

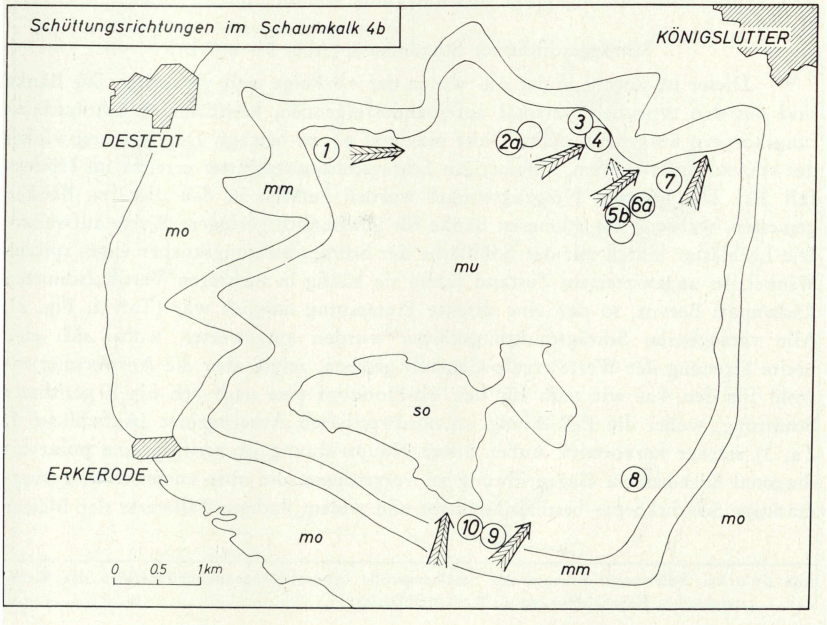
Deutung:

Auf Grund der sedimentären Gefüge gelangten bereits früher mehrere Autoren zu der Ansicht, daß die Ablagerungen des Wellenkalkes s. str. denen rezenter Watten entsprächen (FIEGE 1938 u. a.). Dabei blieb die nach heutiger Ansicht bathymetrisch aussagekräftige Ichnofauna weitgehend unberücksichtigt. Das Spurenspektrum des Wellenkalkes ist gekennzeichnet durch Wohn- und Freßbauten. Als Charakterfossil dieser Spurengemeinschaft gilt *Rhizocorallium*, das nach FARROW (1966) im Einflußbereich der Gezeiten seine optimalen Lebensbedingungen fand. Die dichte Anordnung der Spreitenbauten und deren mitunter paralleler Verlauf in den Ichnofossil-Lagen bestätigen diese Aussage.

Außer den Spreitenbauten sind vertikal geführte Schachtröhren verbreitet. Im Zusammenhang mit diesem Spurentyp ergaben sich interessante Hinweise auf die äußerst rasche Verhärtung der Sedimentoberfläche. Beispielhaft dafür ist der auf Taf. 6, Fig. 1 abgebildete Bau, dessen Röhrenbewohner die bereits weitgehend verhärtete Sedimentoberfläche beim Verlassen seines Schachtes aufbrechen mußte, wobei 7 dreieckig geformte Schollen sternförmig aufrissen. Dieser Befund

Abb. 5 a u. 5 b: Schüttungsrichtungen des Schaumkalkes im westlichen Elm nach Schrägschichtungsmessungen. Nebenrichtungen z. T. vernachlässigt.


Schüttungsrichtungen im Schaumkalk 4a
Hauptrichtung; Nebenrichtung
KÖNIGSLUTTER
DESTEDT
ERKERODE
1
2a
2b
3
4
5a
5b
6b
7
8
9
10
mm
mo
mu
so
0 0.5 1km


Schüttungsrichtungen im Schaumkalk 4b
KÖNIGSLUTTER
DESTEDT
ERKERODE
1
2a
3
4
5b
6a
7
8
9
10
mm
mo
mu
so
0 0.5 1km

entspricht am ehesten den Verhältnissen im Wattenbereich, in welchem die auflaufende Flut die während der Ebbe verborgenen Schlickbewohner aufsteigen läßt. Diese Erscheinung ist kein Einzelfall, sondern tritt besonders in Hemkenrode häufiger auf. Auch über söhlig geführten Bauten kam es zu Aufwölbungen und Aufbrüchen, ohne daß der Erzeuger die Sedimentoberfläche vollends durchstieß (Taf. 6, Fig. 2).

Vorsicht ist geboten bei der Deutung von trockenrißähnlichen Strukturen, die sich vor allem in den „Blaukalk"-Horizonten von Hemkenrode fanden (Taf. 6, Fig. 4). Diese treten aber sowohl auf den Oberseiten wie auch auf den Unterseiten geringmächtiger Mergelkalkbänkchen auf. Außerdem fehlt ihnen die üblicherweise für Trockenrisse charakteristische Polygonalstruktur und der V-förmige Querschnitt. Vermutlich sind diese Risse subaquatisch i. S. SEIBOLDs (1964, S. 318) durch unterschiedliche Kohäsionseigenschaften in einer Wechselfolge von mergeligem und kalkigem Material entstanden.

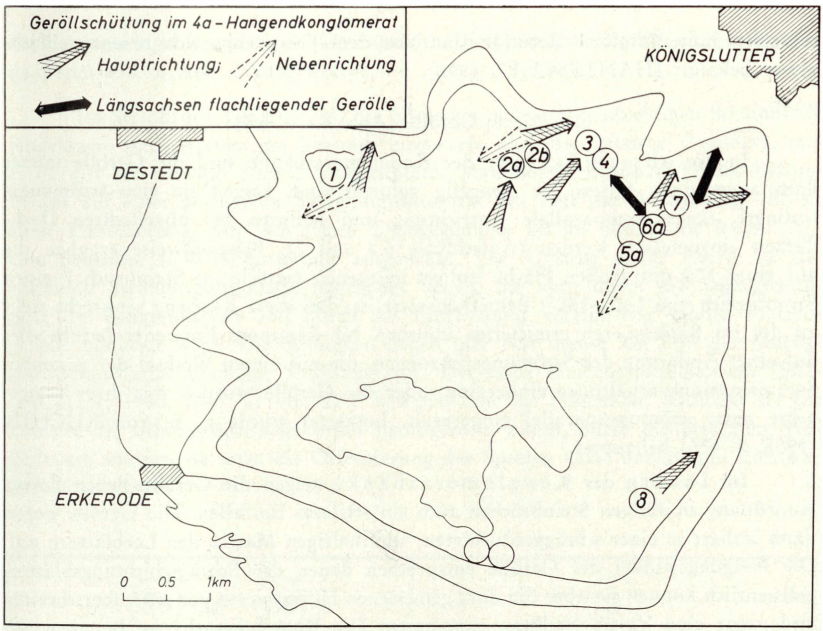
3.3. Die Schüttungsrichtungen der Schaumkalke und Konglomerate

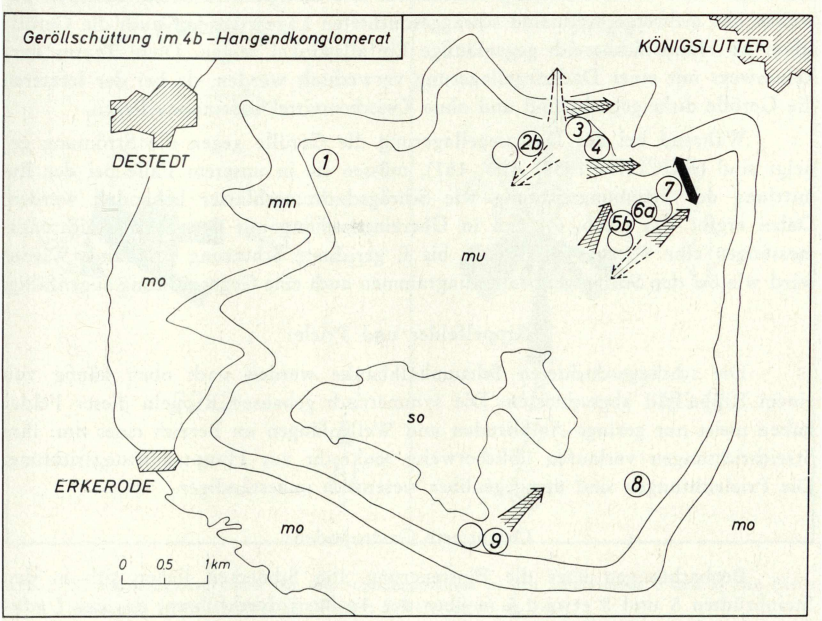
Zur Ermittlung der Strömungsrichtung wurde von den älteren Autoren zumeist nur der Verlauf von Großrippeln, Prielen und Rillen ausgewertet (u. a. SCHMIDT, 1935, STRAUSS, 1938). Schräggeschichteter Schaumkalk und orientierte Gerölle wurden unseres Wissens bisher nicht berücksichtigt; wahrscheinlich, weil sie nur selten so ausgeprägt entwickelt sind wie im Elm.

Schräggeschichteter Schaumkalk (Abb. 5 a u. 5 b):

Dieser ist sowohl in der 4 a- wie in der 4 b-Folge weit verbreitet. Die Bänke sind aus den typischen, vertikal aufeinanderfolgenden, keilförmigen Schrägschichtungskörpern aufgebaut, deren Dicke maximal 40 cm beträgt. Der Neigungswinkel der schwach gekrümmten, löffelartigen Schrägschichtungsblätter erreicht im Höchstfall 30°. Die höheren Neigungswinkel wurden zumeist in den dickeren Bänken gemessen, während die dünneren Bänke für gewöhnlich geringere Werte aufweisen. Die Leeblätter bilden mit der Sohlfläche der Schrägschichtungskörper einen spitzen Winkel. In angewittertem Zustand treten sie häufig in mehreren Vertikalschnitten flächenhaft hervor, so daß eine direkte Einmessung möglich war (Taf. 1, Fig. 2). Alle verfügbaren Schrägschichtungskörper wurden ausgewertet, wobei sich eine breite Streuung der Werte ergab. Generell gesehen, zeigte aber die Auswertung sowohl für den 4 a- wie auch für den 4 b-Horizont eine nach NE bis E gerichtete Schüttung, wobei die E-Richtung im nordwestlichen Arbeitsgebiet (Aufschlüsse 1, 2 a, 3) stärker hervortritt. Außer dieser Hauptrichtung ist vielfach eine polar bis diagonal angeordnete Gegenrichtung zu verzeichnen, die aber zumeist auf geringmächtige Schichtkörper beschränkt bleibt und zudem flachere Fallwerte der Blätter

Abb. 6 a u. 6 b: Schüttungsrichtungen der Scheibengerölle in den Hangendkonglomeraten der Werksteinbänke. Nebenrichtungen z. T. vernachlässigt.


Geröllschüttung im 4a – Hangendkonglomerat
Hauptrichtung
Nebenrichtung
Längsachsen flachliegender Gerölle
KÖNIGSLUTTER
DESTEDT
ERKERODE
1
2a
2b
3
4
5a
6a
7
8
0 0.5 1km


Geröllschüttung im 4b – Hangendkonglomerat
KÖNIGSLUTTER
DESTEDT
ERKERODE
1
2b
3
4
5b
6a
7
8
9
mm
mu
mo
so
mo
mo
0 0.5 1km

erkennen läßt. Ähnliche Befunde sind aus dem Gezeitenbereich rezenter Flachmeere bekannt (HÄNTZSCHEL 1936).

Orientierte Gerölle (Abb. 6a u. 6b):

In der oberen Schicht der Konglomeratbänke sind die Gerölle immer flach angeordnet. Sofern sie stengelig geformt sind, zeigen sie eine strömungsbedingte, längsachsenparallele Ausrichtung und konnten bei abgedeckten Dachflächen eingemessen werden (Aufschlüsse 6a und 7). Beispielsweise ergaben die auf einer 100 qm großen Fläche isoliert gelegenen Gerölle im Steinbruch 7 einen Streubereich von 140—180°. Bemerkenswert ist, daß diese Richtung senkrecht steht zu der im Bankinneren ermittelten üblichen NE-Richtung. Entweder beruht dies auf einer Änderung der Strömungsrichtungen, die mit einem Wechsel der gesamten Sedimentationsverhältnisse einherging, oder die Gerölle wurden mit ihrer Längsachse nicht strömungsparallel eingeregelt. Letzteres wurde z. B. von RUCHIN (1958, S. 416) behauptet.

Im Innern der Konglomeratbänke zeigen die Gerölle neben flacher Anordnung in einigen Steinbrüchen auch ein steileres Einfallen. Die Gerölle liegen dann isoliert in einer schräggeschichteten, schillhaltigen Matrix den Leeblättern auf. Die Neigungswinkel der Gerölle entsprechen denen der Schrägschichtungsblätter; gelegentlich können sie aber die dort gemessenen Höchstwerte von 30° überschreiten und sogar eine Vertikalstellung einnehmen. Die Konglomeratbänke bestehen zuweilen aus mehreren wechselnd schräggeschichteten Lagen, so daß auch die Gerölle schon im Handstückbereich gegenläufige Einfallswinkel zeigen. Diese Textur darf keineswegs mit einer Dachziegellagerung verwechselt werden, da bei der letzteren die Gerölle dicht gepackt sind und ohne Zwischenmittel aufeinanderliegen.

Während bei der Dachziegellagerung die Gerölle gegen die Strömung geneigt sind (RUCHIN 1958, Abb. 161), müssen sie in unserem Falle bei der Ermittlung der Strömungsrichtung wie Schrägschichtungsblätter behandelt werden. Dabei ergibt sich (Abb. 6), daß in Übereinstimmung mit den Schrägschichtungsmessungen eine vorzugsweise NNE bis E gerichtete Schüttung stattfand. Wieder wird wie bei den Schrägschichtungsdiagrammen auch eine Gegenrichtung augenfällig.

Rippelfelder und Priele:

Die schräggeschichteten Schaumkalkbänke werden nach oben häufig von einem Rippelfeld abgeschlossen. Die symmetrisch gebauten Rippeln dieser Felder haben meist nur geringe Amplituden und Wellenlängen im Bereich eines dm; ihre Streichrichtungen verlaufen üblicherweise senkrecht zur Hauptschüttungsrichtung. Die Prielrichtungen sind demgegenüber wesentlich unbeständiger.

Orientierte Gastropoden:

Beobachtungen über die Einsteuerung von Schnecken ließen sich in den Steinbrüchen 5 und 8 etwa 1,5 m über der 4a-Basis durchführen, da hier *Undu-*

laria scalata lagenweise angereichert auftritt. Die Gehäuse-Längsachsen wurden eingemessen und in Abb. 7 ausgewertet.

Im Steinbruch Tetzel, wo die Schnecken einem ebenschichtigen Schaumkalk eingelagert sind, streuen die Einsteuerungswerte über das gesamte Gradnetz, und es ist nur ein schwach nach S ausgerichtetes Maximum erkennbar. Dieser Befund beruht auf einer geringeren Strömungsintensität zur Zeit der Ablagerung, die zu einer Einsteuerung nicht ausreichte. Demgegenüber ist im Steinbruch Reckling eine deutliche E-W-Orientierung ausgeprägt. Die Ursache dafür dürfte in der stärkeren Strömungsintensität begründet liegen, die auch durch die Schrägschichtung des Schaumkalkes und durch die Einstreuung vereinzelter grauer Plattengerölle bestätigt wird. Die Schnecken liegen hier fast immer am Fuß der Schrägschichtungsblätter plan der Sohlfläche auf. Der hohe Einsteuerungsquotient (SEILACHER, 1960, Abb. 8) von 22:2 beweist, daß die Schnecken, nachdem sie die Leeseite der Schrägschichtungskörper herabgerollt waren, durch die Strömung eingesteuert wurden, da sonst die Orientierung der Spitzen keine bevorzugte Richtung aufweisen dürfte.

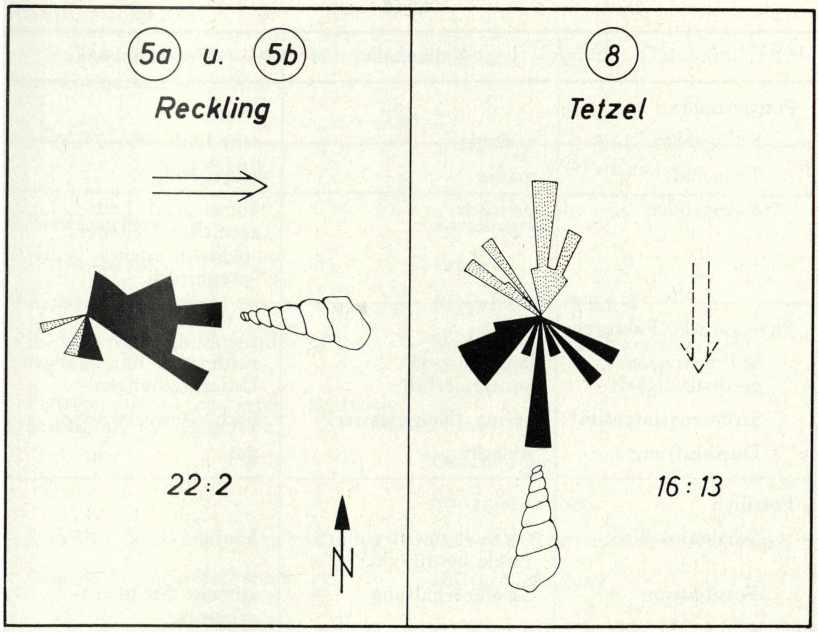


Abb. 7: Einsteuerungsdiagramme von Gastropodengehäusen in den Steinbrüchen 5 und 8. Die Pfeile weisen in Strömungsrichtung. Weitere Erläuterungen im Text.

4. Zur Frage der Bathymetrie und Ökologie der Faziesräume

Das Normalprofil für den höheren Teil des Unteren Muschelkalkes zeigt folgende Gliederung:

Wellenkalk

Konglomerat
Schaumkalk
Hartgründe bzw. Knauerkalke
Konglomerat
} Werksteinbank

Wellenkalk

Diese Folge gilt generell sowohl für den 4 a- als auch für den 4 b-Horizont der Profile 2 bis 10 im mittleren Teil des Elms; doch zeigen die Profile Hemkenrode (1) und Steinum (F), daß die Reihenfolge Hartgrund (Knauerkalk)/Schaumkalk auch umgekehrt sein kann.

Die Wellenkalke und Werksteinbänke sind nach Petrographie und Bionomie deutlich verschieden, was folgende schematische Gegenüberstellung beweisen mag:

Tab. 1

	Wellenkalk	Werksteinbänke
Petrographie		
Kalkgehalt	geringer	sehr hoch (95—99%)
Tongehalt	mäßig	sehr gering
Korngrößen	pelitisch	vorwiegend kalk-arenitisch (seltener -pelitisch oder -psephitisch
Physikalische Faktoren		
Sedimentations-geschwindigkeit	langsam und kontinuierlich	rasch, aber mit häufigen Unterbrechungen
Strömungsintensität	gering (Ruhigwasser)	hoch (Bewegtwasser)
Durchlüftung	schlecht	gut
Fossilien		
Schalenfossilien	selten (zumeist auf Priele beschränkt)	häufig
Fossilisation	Schalenerhaltung	zumeist Steinkern-erhaltung
Ichnofossilien	häufig, z. T. lagenweise angereichert	selten

Aus dieser Zusammenstellung wird ersichtlich, daß es sich beim Wellenkalk um das Sediment eines Organismen-ärmeren Milieus mit Ruhigwasserbedingungen handelt, in dem kontinuierlich pelitisches und stärker mergeliges Material zum Absatz kam. Die vorwiegend kalkarenitischen Werksteinbänke entstanden demgegenüber in einem gut durchlüfteten, Organismen-reicheren Bewegtwasserbereich mit häufigen Sedimentationsunterbrechungen.

Bathymetrie:

Wellenkalk und Schaumkalk wurden für gewöhnlich als Bildungen unterschiedlicher Meerestiefe angesehen. Es besteht allerdings keine Einigkeit darüber, ob die Werksteinbänke oder die Wellenkalke die Absätze größerer Wassertiefe sind. FIEGE (1938), ZUNCKE (1957) u. a. nehmen an, daß die Wellenkalke die Ablagerungen flachster Meeresteile darstellen, während die Werksteinbänke in etwas tieferem Milieu zum Absatz kamen. Andere Autoren, wie z. B. REIS (1910) und MURR (1957), sind der gegenteiligen Ansicht und sehen in den Wellenkalken Sedimente tiefer gelegener Meeresbereiche. Nach unserer Auffassung ist weniger die Bathymetrie für die Genese der unterschiedlichen Gesteinstypen wesentlich, sondern eher deren zonare Stellung im Faziesraum bei nur geringen Meerestiefenschwankungen.

Die bathymetrische Ähnlichkeit bestätigen folgende Gesteinsmerkmale, Sedimentmarken und Spuren:

Tab. 2

Wellenkalk	Werksteinbänke
Rieselmarken	Rieselmarken
Priele (häufig)	Priele
Rippelfelder (selten)	Rippelfelder (häufig)
Bildung von Schlickgeröllen	Rotfärbung und Karrenbildung an Geröllen
Plattige, bis 40 cm große, beidseitig bewachsene Einzelgerölle	
	Ooidbildung
	Schrägschichtung
Rasche Sedimentverhärtung	Rasche Sedimentverhärtung
Biogene Sedimentaufbrüche	Hartgrundbildung
Ichnofossilien	Ichnofossilien
Rhizocorallien (häufig)	Rhizocorallien (in Zwischenschichten)

Einige dieser Befunde sind als Einzelbeobachtungen wenig beweiskräftig, da sie, wie z. B. die Rippeln, zuweilen auch am Boden tieferer Meere beobachtet werden. Doch in ihrer Gesamtheit beweisen beide Gruppen einen Flachwasserbereich. Rieselmarken (Taf. 5, Fig. 1), Karrenbildungen (Taf. 6, Fig. 3), Schlickgerölle und vielleicht auch die Hartgrundbildung bestätigen darüber hinaus ein zeitweiliges Trockenfallen des Meeresgrundes.

Sedimentationsraum:

Aus den bathymetrischen Überlegungen ergibt sich, daß die Sedimenttypen nicht auf eine unterschiedliche Tiefenlage zurückzuführen sind, und es ist notwendig, einen Flachwasserbereich zu charakterisieren, der bei kaum abweichender Bathymetrie alle diese Sedimente räumlich nebeneinander beinhaltet.

Der Wellenkalk s. str. erinnert in seinem gesamten bionomischen und sedimentologischen Inventar, vor allem aber durch die Trockenfall-Anzeichen, an einen Ablagerungsraum, der dem ruhiger und abgeschlossener Watten entspricht. Zu einer ähnlichen Auffassung gelangten auch FIEGE (1938), HILDEBRAND (1928) u. a.

Als Abkömmlinge dieser Schlickwatten haben die in den Konglomeraten reichlich vertretenen, dichten, grauen Gerölle zu gelten, deren Sedimentationsraum den Watten vorgelagert war. Allem Anschein nach entstanden sie — wie einige randlich gekrümmte Gerölle verdeutlichen — zumindest teilweise als Schlickgerölle im Wattenbereich. Sie wurden durch Priele hinaustransportiert, durch Strömungen flächenhaft verbreitet und durch den flußähnlichen Transport z. T. zu Stengelgeröllen geformt. Ihr Transport und ihre mehrfache Umlagerung sowie ein etwaiges Trockenfallen wird durch allseitige Anbohrungen, Bewuchs, Rotfärbung und Karrenbildungen bewiesen.

Zuweilen dürften die Gerölle auch durch Suspensionsströmungen (PETTIJOHN 1957, S. 96) transportiert worden sein, wie es für das gradiert texturierte 3b-Liegendkonglomerat wahrscheinlich ist (Taf. 4, Fig. 3). Die Gerölle der 4a- und 4b-Konglomerate beweisen aber durch ihre Einbettung in schräggeschichtetes Schillmaterial (keine Dachziegellagerung!), daß sie durch Strömungen entstanden sind, die, nach dem Schüttungssinn zu urteilen, ganz ähnlich wie die Schaumkalke transportiert wurden.

Dem Bildungsraum der Konglomerate war vermutlich die Zone der Schaumkalke s. str. vorgelagert. Analog den Verhältnissen in rezenten Meeren könnte die Ooidbildung auf einer flächenhaften Untiefe unter einer Wasserbedeckung von nur wenigen Metern stattgefunden haben. Das Ooidmaterial wurde im Bewegtwasserbereich häufig umgelagert und zu schräggeschichteten Ooidriffen aufgehäuft. Im Strömungsschatten dieser vor allem an den Untiefenrändern entstandenen Ooidriffe gelangte nur feiner Kalkpelit zum Absatz, der möglicher-

weise im Auftauchbereich rasch zu Hartgründen verhärtete und dem bohrenden Benthos optimale Lebensbedingungen bot. Aus der z. T. ansehnlichen Größe der sessilen Epifauna geht hervor, daß im Bereich der Hartgründe die Sedimentation über längere Zeitspannen hinweg unterbrochen werden konnte. Wechselnde Strömungsverhältnisse sorgten alsdann dafür, daß die Hartgründe durch wandernde Ooidriffe erneut überschüttet wurden. Auf diesen Riffen tieften sich während ruhiger Strömungsverhältnisse symmetrisch gebaute Rippelfelder ein, in denen Kalkpelit sedimentierte, der wiederum zu Hartgründen verfestigen konnte. Demgemäß finden sich die Rippelfelder vorwiegend im Grenzbereich der Hartgrundkalke gegen die Schaumkalkriffe (Taf. 3, Fig. 1).

Nach unserer Vorstellung sind danach ebenschichtige Schaumkalke, schräggeschichtete Schaumkalke, Hartgründe, Hartgrund-Knauerkalke (und Knauerkalke), Gesteine einer einzigen sedimentären Assoziation. Unterschiedliche Strömungsverhältnisse ließen bald Schaumkalk, bald Hartgrundkalke und diesen verwandte Bildungen zum Absatz kommen[7]), und es wird erklärlich, warum sich in den Elm-Profilen die Schaumkalkbänke und Hartgrundfolgen zumeist nur auf kurze Entfernung verfolgen lassen. Sie stellen keine weitaushaltenden isochronen Einheiten dar, auf die sich eine detailliertere Petrostratigraphie begründen ließe.

Der scharfe lithologische Wechsel zwischen Wellenkalk s. str. und Werksteinbänken könnte ausreichend durch eine zonare Verlagerung der Faziesglieder erklärt werden; die gleichbleibende Anzahl der Werksteinbänke in der mu_3- und mu_4-Folge sowie deren weiträumige Erstreckung machen es andererseits aber schwierig, ohne die Einflußnahme epirogener Ereignisse und deren Auswirkung auf die Verbindung zwischen germanischem Muschelkalkmeer und offenem Ozean auszukommen. Die oben skizzierten Faziesverhältnisse möchten wir deshalb vorerst nur für den durch Konglomeratlagen, Schaumkalkmächtigkeit und zahlreiche Hartgründe charakterisierten Unteren Muschelkalk des Elms angewendet wissen.

Der hohe Gehalt an Kalkgeröllen, die ausgeprägte Schrägschichtung der Schaumkalkbänke und die ermittelten Flachwassermerkmale deuten auf ein Liefergebiet, das — nach den Schüttungswerten zu urteilen — im SW des Arbeitsgebietes gelegen haben muß. Allerdings kann die Morphologie und genaue Lage dieses Liefergebietes aus dem begrenzten Untersuchungsraum nicht rekonstruiert werden. Es sprechen aber die abweichenden lithologischen Verhältnisse im Profil von Hemkenrode und die von HARBORT (1913, 1914) betonten geringeren Schaumkalkmächtigkeiten im Reitlingstal sowie die teilweise geringe Zurundung der Kalkgerölle für die unmittelbare Nähe des Abtragsraumes. Ob es sich dabei um eine über längere Zeiträume beständige Insel oder nur um einen Auftauchbereich („Trockenwatt") gehandelt hat, ist zweifelhaft; die im Elm wiederholt

7) Eine räumliche Verlagerung der Fazieszonen gilt nach VOLLRATH (1954) auch für den Hauptmuschelkalk Württembergs.

nachgewiesenen Vertebratenfunde (z. B. Placodontier- und Nothosaurier-Reste in den Steinbrüchen 5 a und 7) lassen eher eine Küste erwarten.

Für den Trochitenkalk des Elms wurde bereits von KLEINSORGE (1935) das Vorhandensein einer Untiefe mit Entwicklung von Crinoiden-Riffen wahrscheinlich gemacht. Auch während des Mittleren Buntsandsteins hat nach A. HERRMANN (1962, Abb. 1) in unserem Raum die rheinisch gerichtete Eichsfeld-Schwelle bestanden. Es muß Aufgabe einer regional weiter gespannten Untersuchung sein, den Verlauf der Schwellenregion auch für die Zeit des Unteren Muschelkalkes zu rekonstruieren.

5. Literatur

EINSELE, G.: Schrägschichtung im Raumbild und einfache Bestimmung der Schüttungsrichtung. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1960,** S. 546—559, 6 Abb., 1 Tab., Stuttgart 1960.

FARROW, G. E.: Bathymetric zonation of Jurassic trace fossils from the coast of Yorkshire, England. — Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **2,** 2, S. 103—151, 11 Abb., Amsterdam 1966.

FIEGE, K.: Die Epirogenese des Unteren Muschelkalks in Nordwestdeutschland, I. Teil. — Centralbl. Mineral. etc., Abt. B, **1938,** S. 143—170, Stuttgart 1938.

FRANTZEN, W., & KOENEN, A. v.: Über die Gliederung des Wellenkalks im mittleren und nordwestlichen Deutschland. — Jb. preuß. geol. L.-A., **9,** 1888, S. 440—479, Berlin 1889.

FREYBERG, B. v.: Der Aufbau des unteren Wellenkalks im Thüringer Becken. — N. Jb. Min., Beil. Bd. **45,** S. 214—274, Stuttgart 1922.

—: Seegangsrippeln im untersten Muschelkalk von Eisfeld/Thür. — Centralbl. Mineral. etc., Abt. B, **1934,** S. 555—558, 2 Abb., Stuttgart 1934.

GRUPE, O.: Beiträge zur Kenntnis des Wellenkalks im südlichen Hannover und Braunschweig. — Jb. preuß. geol. L.-A., 1905, **26,** S. 436—466, Berlin 1908.

HÄNTZSCHEL, W.: Die Schichtungs-Formen rezenter Flachmeer-Ablagerungen im Jade-Gebiet. — Senckenbergiana, **18,** S. 316—356, 20 Abb., Frankfurt 1936.

-: Zur Frage der Kennzeichen fossiler Wattenablagerungen. — Natur und Volk, **83,** 8, S. 255—262, 4 Abb., Frankfurt 1953.

HARBORT, E.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen. Blatt 3730 Königslutter. — 102 S., 1 Abb., 2 Taf., Berlin 1913.

—: Beiträge zur Geologie der Umgebung von Königslutter und zur Tektonik des Magdeburg-Halberstädter Beckens. — Jb. preuß. geol. L.-A., **34,** S. 206—267. 6 Abb., 4 Taf., Berlin 1914.

HARK, H. U.: Ein Beitrag zur Tektonik am Westrand des Subherzynen Beckens. — Abh. Braunschweig. wiss. Ges., **7,** S. 46—65, 10 Abb., Braunschweig 1955.

HENKEL, L.: Der Wellenkalk im nördlichen Harzvorlande. — Z. deutsch. geol. Ges., Monatsber., **57,** S. 384—392, 1 Abb., Berlin 1905.

HERBIG, P.: Die Dynamik des deutschen Muschelkalkbodens, ihr Einfluß auf die Genesis der Muschelkalkgesteine und ihre Bedeutung für Probleme der physischen und historischen Geologie. — Beitr. physik. Erforschung der Erdrinde, **4,** 225 S., 9 Abb., Berlin 1931.

HERRMANN, A.: Epirogene Bewegungen im germanischen Buntsandsteinbecken und deren Bedeutung für lithostratigraphische Parallelisierungen zwischen Nord- und Süddeutschland. — Geol. Jb., **81,** S. 11—72, 3 Taf., 13 Abb., 2 Tab., Hannover 1962.

HERRMANN, F.: Stratigraphie und Tektonik zwischen Hildesheimer Wald und Salzgitterer Höhenzug. — Diss. TH Braunschweig, 137 S., 7 Abb., 2 Anlagen, Braunschweig 1964.

HILDEBRAND, E.: Der Aufbau des Wellenkalkes. Ein Beitrag zur Frage seiner allgemeinen Bildungsbedingungen. — Geol. Paläont. Abh., N. F., **16,** 3, S. 235—304, 12 Abb., 3 Profile, 4 Taf., Jena 1928.

HOEHNE, E.: Stratigraphie und Tektonik der Asse und ihres östlichen Ausläufers des Heeseberges bei Jerxheim. — Jb. preuß. geol. L.-A., **32,** 1910, S. 1—105, 7 Abb., 2 Taf., Berlin 1911.

HUCKRIEDE, R.: Neues zur Geologie des Elms (Niedersachsen). — Geologica et Palaeontologica, **1,** S. 87—95, 5 Abb., Marburg 1967.

JUBITZ, K.-B.: Feinstratigraphische Untersuchungen im Unteren Muschelkalk Mitteldeutschlands (Zu einigen Diplomarbeiten 1957/58). — Geologie, **8,** S. 334—336, Berlin 1959.

KLEINSORGE, H.: Palaeogeographische Untersuchungen über den Oberen Muschelkalk in Nord- und Mitteldeutschland. — Mitt. geol. Staatsinst. Hamburg, **15,** S. 57—102, 12 Abb., 1 Taf., Hamburg 1935.

KUMM, A.: Trias und Lias. — In: KUMM, A., RIEDEL, L. & SCHOTT, W.: Das Mesozoikum in Niedersachsen. 1. Abt., Geol. u. Lagerstätten Niedersachsens, **2,** 328 S., 79 Abb., Oldenburg (Stalling) 1941.

LÜTTIG, G.: Geröllmorphometrie des Zechsteinkonglomerats im Schacht Rossenray 1. — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **6,** S. 385—390, 1 Abb., Krefeld 1962.

MÜLLER, A. H.: Stratonomische Untersuchungen im Oberen Muschelkalk des Thüringer Beckens. — Geologie, **4,** 74 S., 10 Abb., 11 Taf., Berlin 1950.

—: Beiträge zur Stratonomie und Ökologie des germanischen Muschelkalkes. — Geologie, **4,** S. 285 – 297, 1 Abb., 3 Taf., Berlin 1955.

—: Weitere Beiträge zur Ichnologie, Stratonomie und Ökologie der germanischen Trias. Teil I. — Geologie, **5,** S. 405—423, 2 Abb., 4 Taf., Berlin 1956.

—: Weitere Beiträge zur Ichnologie, Stratinomie und Ökologie der germanischen Trias. Teil II. — Geologie, **8,** S. 239—249, 5 Abb., 7 Taf., Berlin 1959.

MURR, K. St.: Stratigraphie und Genese des Unteren Muschelkalks (Wellenkalk) im nördlichen Harzvorland. — Diss. TH Braunschweig, 90 S., 20 Abb., Braunschweig 1957.

PETTIJOHN, F. J.: Sedimentary Rocks. — 2. Aufl., 718 S., 173 Abb., 118 Tab., 40 Taf., (Harper), New York 1957.

REIS, O. M.: Beobachtungen über Schichtenfolge und Gesteinsbildungen in der fränkischen Unteren und Mittleren Trias. — Geognost. Jahresh., **22,** S. 1—285, 9 Abb., 2 Beil., 11 Taf., München 1910.

RICHTER, R.: Flachseebeobachtungen zur Paläontologie. III—VI. — Senckenbergiana, **4,** 5, S. 103—141, 1 Taf., Frankfurt 1922.

RIEDEL, A.: Beiträge zur Gliederung der Triasformation in Braunschweig und angrenzenden Gebieten. — Jb. Provinzial-Museum Hannover, **1911/12,** S. 92—111, Hannover 1912.

RUCHIN, L. B.: Grundzüge der Lithologie. — 806 S., 303 Abb. (Akademie-Verlag), Berlin 1958.

RÜCKLIN, H.: Die Grenzschichten Buntsandstein / Muschelkalk im Saarland — ein fossiles Watt. — Jber. u. Mitt. Oberrh. Geol. Ver., N. F., **35,** 1953, S. 26—42, 1 Taf., Stuttgart 1954.

RÜGER, L.: Der Wellenkalk. — Beitr. Geol. v. Thüringen, **4,** 4, S. 137—155, Jena 1936.

SCHMITT, P.: Zur Petrogenese des fränkischen Wellenkalkes. — Chemie der Erde, **9,** 3, S. 321 – 364, 33 Abb., 3 Tab., 2 Taf., Jena 1935.

SEIBOLD, E.: Das Meer. — In: BRINKMANN, R.: Lehrbuch der allgemeinen Geologie, 1. Teil, S. 280—500 (Enke), Stuttgart 1964.

SEILACHER, A.: Strömungsanzeichen im Hunsrückschiefer. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **88,** S. 88—106, 13 Abb., 2 Taf., Wiesbaden 1960.

STRAUSS, K.: Zur Petrogenese des süddeutschen Wellenkalkes. — Jb. preuß. geol. L.-A., 1937, **58,** S. 485—546, 37 Abb., Berlin 1938.

VOIGT, E.: Die ökologische Bedeutung der Hartgründe („Hardgrounds") in der oberen Kreide. — Paläont. Z., **33,** 3, S. 129—147, 1 Abb., 3 Taf., Stuttgart 1959.

VOLLRATH, A.: Das Wandern der oolithischen Fazies im Hauptmuschelkalk von Württemberg. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1954,** S. 412—417, 3 Abb., Stuttgart 1954.

WAGNER, E.: Beitrag zur Bionomie und Faciesbildung des Muschelkalks bei Jena. — Jb. preuß. geol. L.-A., 1921, **42,** S. 381—432, 26 Abb., Berlin 1923.

WAGNER, W.: Beitrag zur genaueren Kenntnis des Muschelkalks bei Jena. — Abh. preuß. geol. L.-A., N. F., **27,** 105 S., 7 Abb., 2 Taf., Berlin 1897.

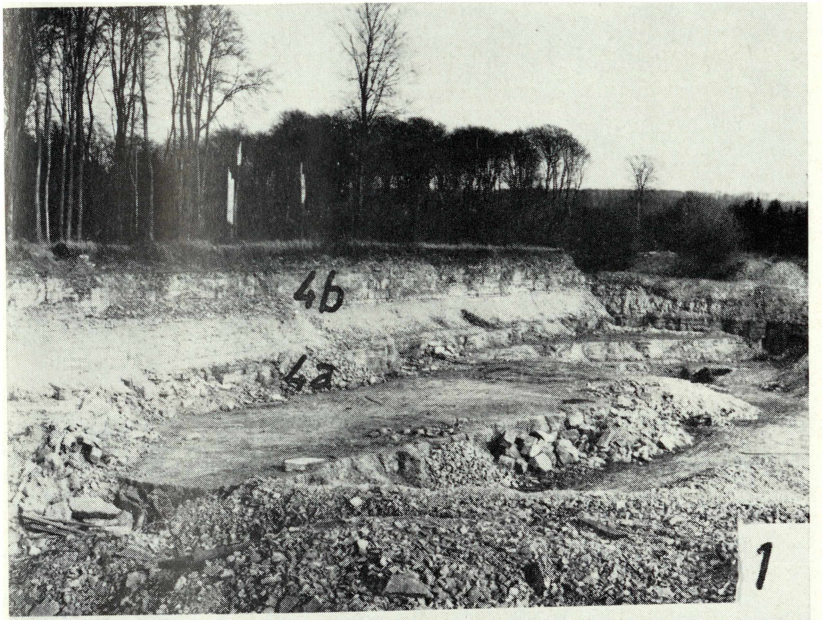
WOLDSTEDT, P.: Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt 3830 Schöppenstedt. — 64 S., 2 Abb., Berlin 1931.

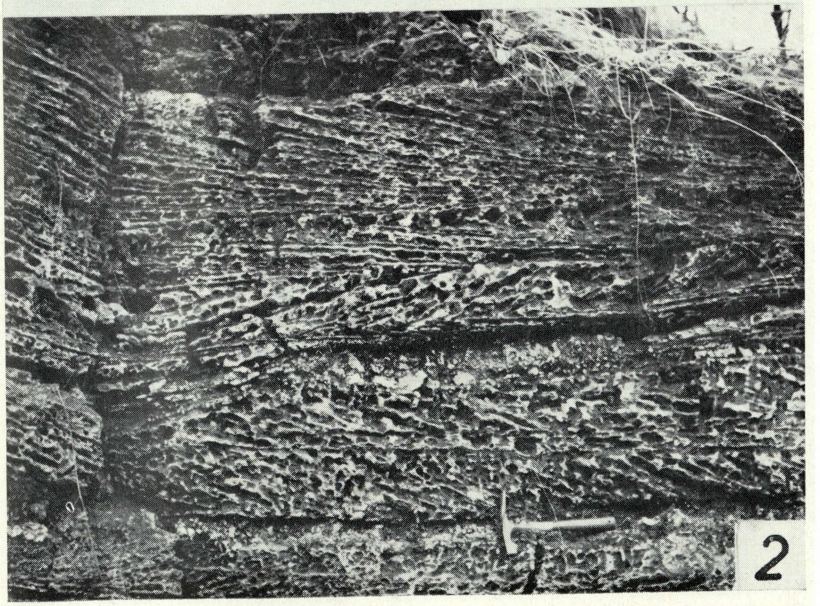
ZUNCKE, G.: Zur Stratigraphie und Tektonik der Dorm-Rieseberg-Achse. — Diss. TH Braunschweig, 178 S., 2 Taf., 11 Abb., Braunschweig 1957.

Tafel 1

Fig. 1: „Schaumkalk-Serie" im Steinbruch Zerries (6 a). Abgebaut werden die Werksteinbänke 4 a und 4 b, die durch ein 2,75 m mächtiges Wellenkalk-Zwischenmittel getrennt werden.

Fig. 2: Stark schräggeschichteter Schaumkalk der Werksteinbank 4 a im Steinbruch Breite-Berg W (2 a). Mehrere vertikal aufeinander folgende Schrägschichtungskörper zeigen wechselnde Schüttungsrichtungen. Die Leeblätter treten bei Anwitterung auf Grund der lagenweisen Härteunterschiede gut heraus.


4b
4a
1

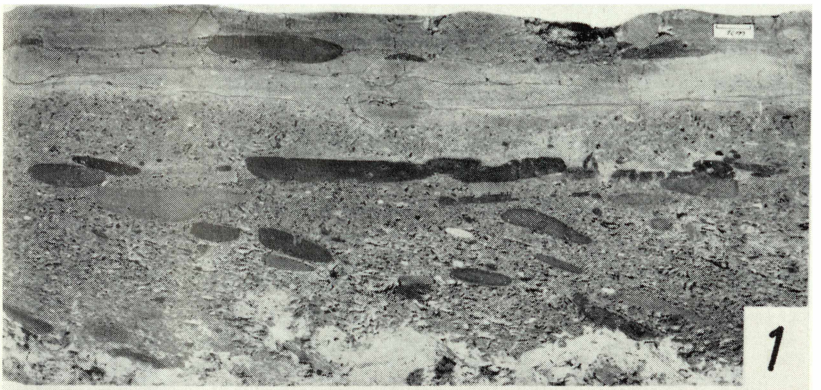

2

Tafel 2

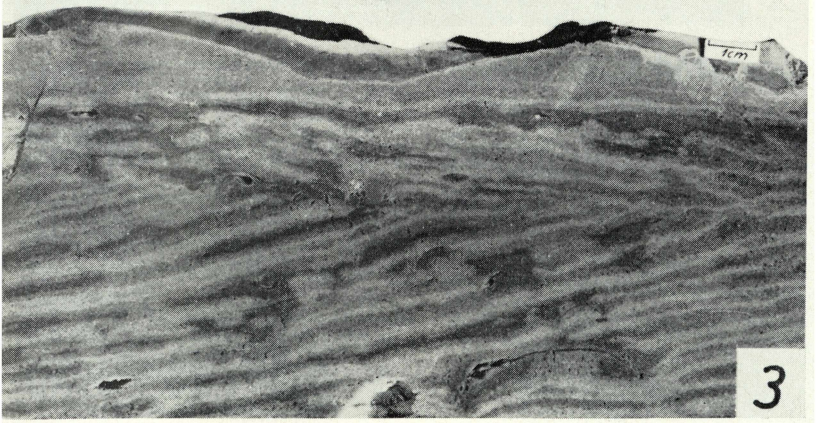
Fig. 1: Hangendkonglomerat der Werksteinbank 4b im Steinbruch Peters (6b) (leg. MURR). Zuunterst liegt ein 5 cm dicker, schräggeschichteter Schillkörper mit grauen und rostbraunen Scheibengeröllen auf den Leeblättern (keine Dachziegellagerung!). Darüber folgen zwei durch eine mergelreiche Zwischenschicht getrennte Lagen mit söhlig angeordneten Plattengeröllen. Der Wechsel der Textur belegt einen mehrphasigen Absatz der Konglomerate.

Fig. 2: Dachfläche des 4a-Hangendkonglomerates im Steinbruch Breite-Berg W (2a). Die dicht gelagerten, zumeist intensiv rotbraun gefärbten Gerölle sind teils unregelmäßig, teils stengelig geformt. Auf den Gerölloberflächen sind Anbohrungen, Placunopsis-Bewuchs und Karrenbildungen zu erkennen.

Fig. 3: Schräggeschichteter Schaumkalk der Werksteinbank 4a im Steinbruch Peters (6b). Die mit 15° einfallenden Leeblätter treten durch den Wechsel heller, stark oolithischer und dunkler, Detritus-reicher Lagen deutlich hervor. Die dunklen, wolkigen Höfe haben diagenetischen Ursprung. Der Schrägschichtungskörper wird überlagert von einem mit Kalkpelit gefüllten Rippelfeld.


1

2


1cm
3

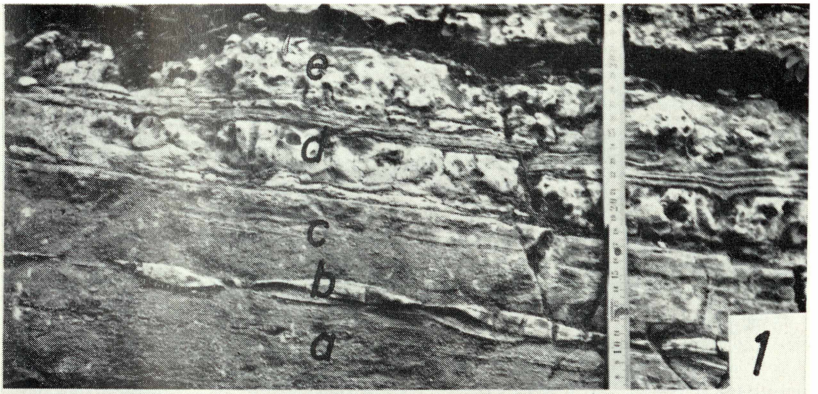
Tafel 3

Fig. 1: Hartgrundfolge im unteren Teil der Werksteinbank 4 a des Steinbruches Tetzel (8). Im Liegenden einer dünnen Mergellage (f) sind zwei konkordante, angebohrte Hartgründe (d und e) aufgeschlossen. Darunter ist zwischen zwei schräggeschichteten Schaumkalkkörpern (a und c) an einem Rippelfeld (b) eine beginnende Hartgrundbildung zu erkennen. Die Rippeltäler sind mit feinem Kalkpelit angefüllt, der rascher als der Schaumkalk erhärtete und von Benthonten angebohrt wurde. Die Weiterentwicklung dieses sog. „Rippelhartgrundes" wurde durch die Aufschüttung der Schaumkalklage c abgebrochen.

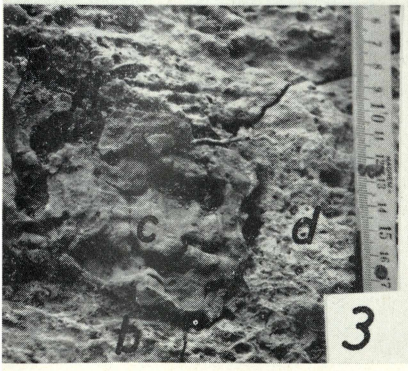
Fig. 2: Abbrechender Hartgrund im Steinbruch Zerries (6 a) ca. 25 cm unter dem 4 b-Hangendkonglomerat (e). Der etwa 10 cm dicke, stark angebohrte Hartgrund (c) legt sich über einen schräggeschichteten Schaumkalk (b), der seinerseits einem schillfreien Schaumkalkkörper a aufliegt. Alle drei Horizonte werden von einem mit Grobschill angefüllten Priel (d) angeschnitten. In 3,50 m Entfernung setzt sich am gegenüberliegenden Prielufer der Hartgrund in gleicher Ausbildung fort. Die Abbruchkanten des Hartgrundes sind abrupt und stehen vertikal, was eine weitgehend fortgeschrittene Verhärtung zur Zeit der Prielentstehung beweist.

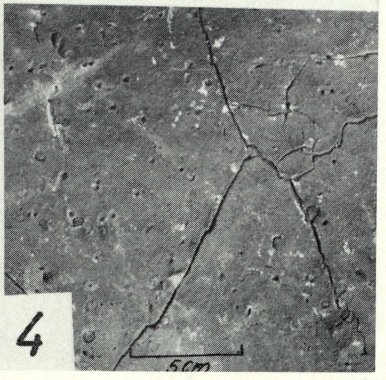
Fig. 3: Abbruchkante des Hartgrundes aus Fig. 2. Der Hartgrund wird von zahlreichen unregelmäßig verlaufenden, etwa 1 cm weiten Röhren durchsetzt, die vermutlich von *Balanoglossites* herrühren. Da die Bohrgänge zum Teil ungefüllt blieben, wird die typische Lochstruktur deutlich sichtbar.

Fig. 4: Dachfläche eines Schaumkalkkörpers im Steinbruch Reckling-S (5 a) (Werksteinbank 4 a). Die obersten Millimeter des Schaumkalkes verhärteten während einer (subaerischen ?) Freilage und rissen an z. T. rechtwinklig verspringenden Furchen auf. Die Hartgrund-ähnliche, durch Porenverkittung verdichtete Dachfläche wurde von Lithionten besiedelt, deren Bohrlochmündungen sich trichterförmig einsenkten.


e
d
c
b
a
1

e
d
b
a
2


c
d
b
3

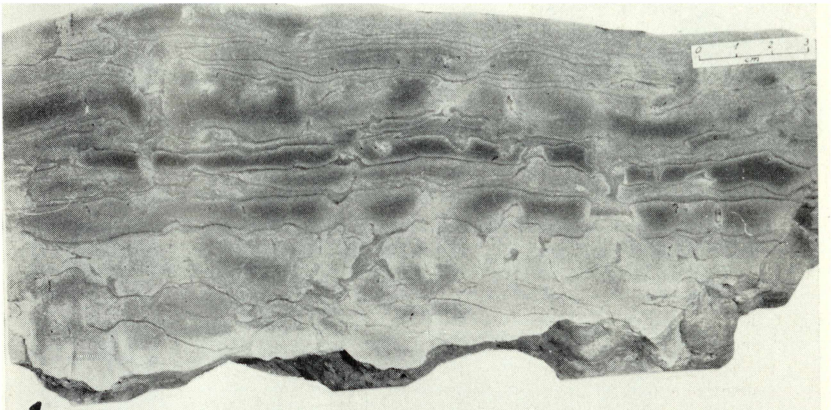

5cm
4

Tafel 4

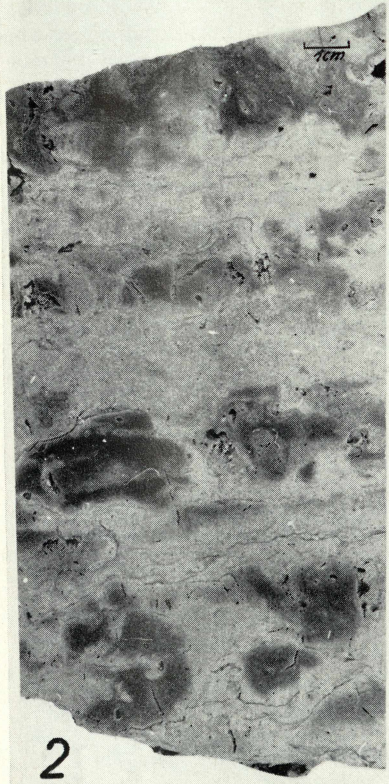
Fig. 1: Knauerkalk aus der 4 b-Folge im Steinbruch Froese & Peschel (7). Unregelmäßige, in ihrem Kern blaugraue Knauern werden von gelbgrauen, porösen und detritusreichen Schlieren eingehüllt. Die Knauern bestehen aus einem schillarmen, im Innern konkretionär verdichteten Kalkpelit und zeigen nur ein andeutungsweise entwickeltes Lagengefüge. In den schlierigen Säumen wurde offenbar durch Lösungstransport der Gehalt an Schill und Klastika sekundär angereichert. Im Mittelteil des Handstücks ist eine dünne, wahrscheinlich primäre Lage aus dichtem Kalkpelit angelegt, die mehrfach trichterförmig angelöst wurde.

Fig. 2: Hartgrund-Knauerkalk aus der 4 a-Folge des Steinbruchs Peters (6 b). Die Abbildung zeigt die periodische Aufeinanderfolge von blaugrauem, wolkig verdichtetem, pelitischem, seltener auch arenitischem sog. Hartgrund-Knauerkalk. Die Knauerlagen werden getrennt durch ein diagenetisch weniger verdichtetes, z. T. oolithisch-poröses Zwischenmittel, welches verschiedentlich Schlieren mit angereicherten Lösungsrückständen erkennen läßt. Die Dachflächen der Hartgrund-Knauerkalke wurden von Endobenthonten in unterschiedlicher Weise angebohrt. Nur die Oberfläche des obersten Hartgrundes ist scharf begrenzt, während die tieferen, stärker knauerig ausgebildeten Hartgründe — bedingt durch spätere Lösungsvorgänge — einen mehr unregelmäßigen Verlauf nehmen.

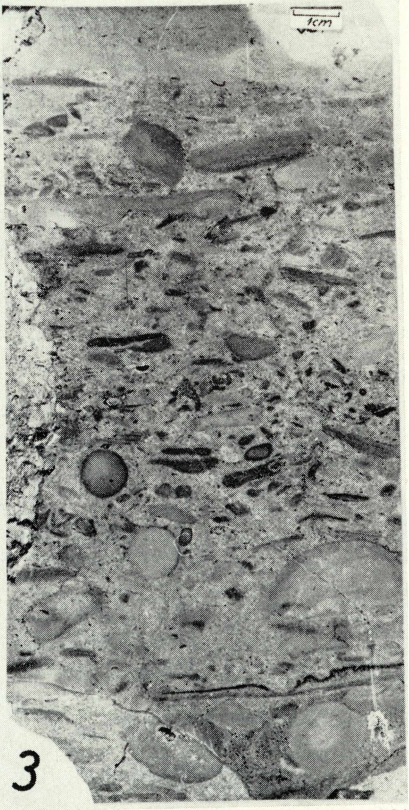
Fig. 3: Liegendkonglomerat des 3 b-Horizontes aus dem Steinbruch Hemkenrode (1). Mehrfache Aufeinanderfolge von gradiert geschichteten Geröllagen. Bemerkenswert sind die vor allem an der Basis des Handstücks auffallend walzenförmigen, im Querschnitt runden Gerölle. Die maximalen Gerölldurchmesser werden nach oben allmählich kleiner, und die Gerölle nehmen zunehmend flachscheibenförmige Gestalt an. Ein Absatz dieser gradierten Konglomerate aus Suspensionsströmen scheint möglich.



1



2

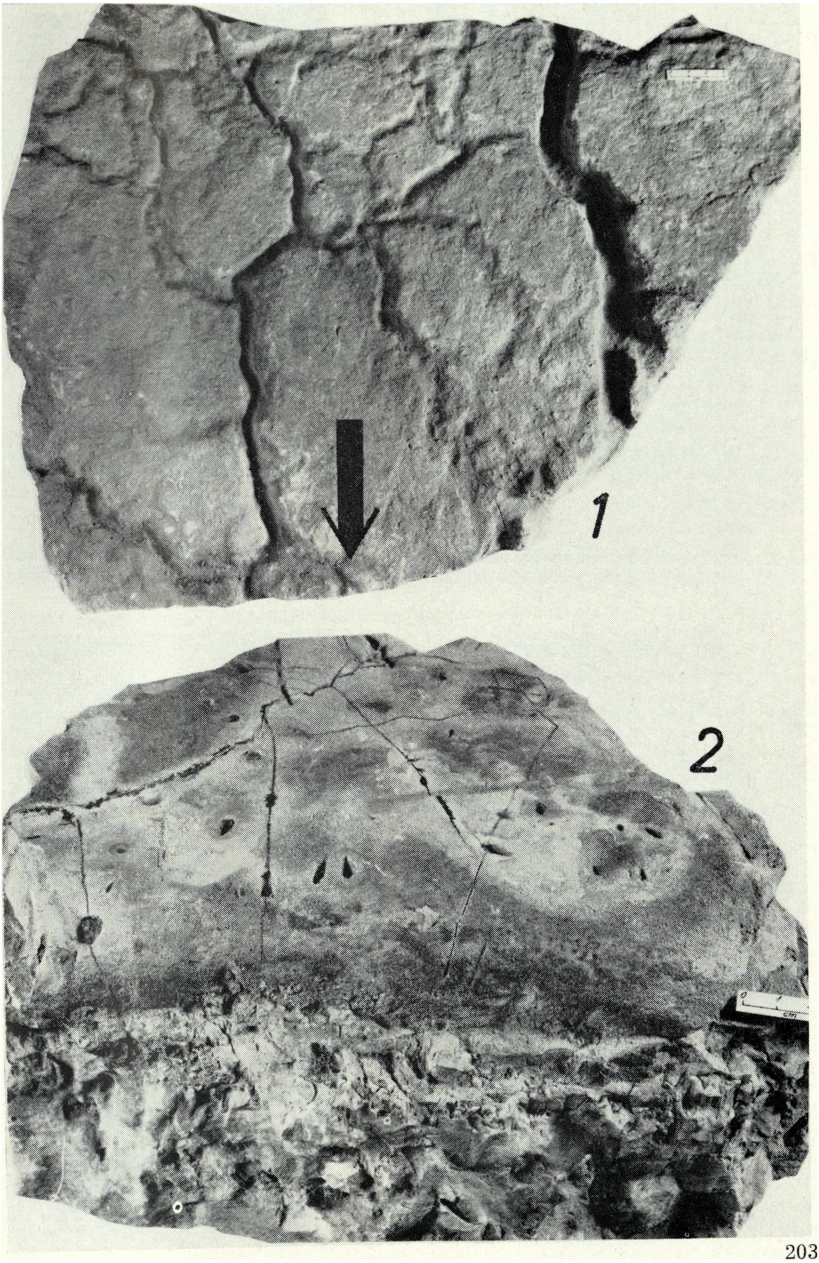


3

Tafel 5

Fig. 1: Rieselmarken aus dem Steinbruch Hemkenrode (1) (Schaumkalkserie 3 b). Die verhärtete Oberseite einer Schaumkalkplatte wird von einem verzweigten Rinnensystem durchzogen Die Rinnen wurden maximal 1,5 cm eingetieft, wobei die schon stärker verfestigte mm-dünne Dachfläche hohlkehlenartig unterspült wurde. Eine längere Sedimentationsunterbrechung wird durch *Placunopsis*-Bewuchs belegt.

Fig. 2: Hartgrundplatte aus dem Steinbruch Hemkenrode (1). Schrägsicht auf den Rand einer Hartgrundplatte, die von einem feinkörnigen Schaumkalk durch eine Styliolithen-Naht getrennt ist. Typisch ist der strömungsbedingte, wohlgerundete obere Rand der Platte. Die Fläche ist angebohrt von *Trypanites*-ähnlichen Benthonten, deren tropfenförmige Mündungen nach oben schräg auslaufen.


1
2

Tafel 6

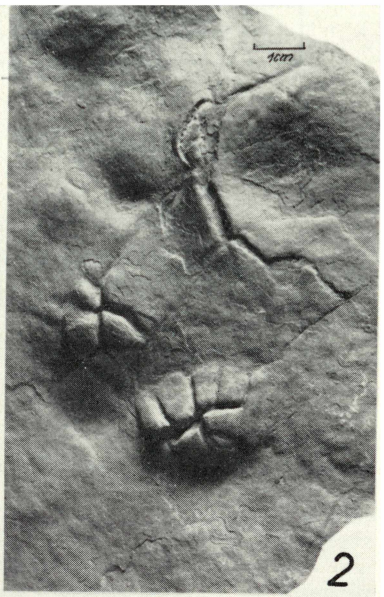
Fig. 1: Biogener Sedimentaufbruch aus dem Wellenkalk der mu_3-Folge des Steinbruchs Hemkenrode (1). Sternförmig angehobene Sedimentschollen über einem vertikal geführten und nur locker verfüllten Schachtbau. Die mm-dünne, durch Porenverkittung stärker verdichtete Oberflächenschicht war offenbar im Bereich des Gezeitenwechsels durch Wasserentzug äußerst rasch verfestigt und mußte von dem Röhrenbewohner beim Verlassen des Baus aufgebrochen werden.

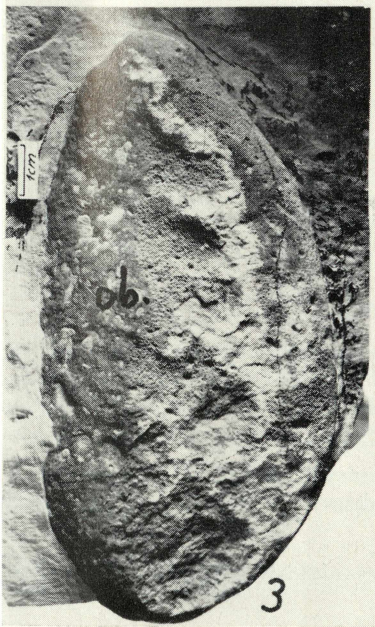
Fig. 2: Biogener Sedimentaufbruch aus dem mu_3-„Blaukalk" des Steinbruchs Hemkenrode (1). Der an der Oberfläche ebenfalls rasch verhärtete Mergelkalk wurde über den söhlig geführten Bauten von Ichnofossilien aufgewölbt und entlang von Rissen schollenförmig zerlegt, ohne daß der Sedimentbewohner die Oberfläche vollends durchstieß.

Fig. 3: Einzelgeröll aus dem 4b-Dachkonglomerat des Steinbruchs Froese & Peschel (7). Das oberflächlich rot verwitterte, im Innern graue Schaumkalk-Geröll ist von Lösungskarren bedeckt, die mit grauem Mergel verfüllt wurden. Die typische, langgestreckt-stengelige Morphometrie des Gerölls deutet auf einen flußähnlichen Transport im Prielbereich hin.

Fig. 4: Kontraktionsrisse in einem Handstück der „Blaukalk"-Folge 3 des Steinbruchs Hemkenrode (1). Auf der Unterseite eines welligen Mergelkalkes ist ein System von Schwundrissen entwickelt. Abweichend von Trockenrissen fehlt diesen neben dem V-förmigen Querschnitt auch die charakteristische Polygonal-Struktur; vielmehr nehmen die Risse einen eher linienhaften Verlauf.

1cm
1


1cm
2


1cm
ob.
3

1cm
4

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover

Jahr/Year: 1968

Band/Volume: BH_5

Autor(en)/Author(s): Ernst Gundolf, Wachendorf Horst

Artikel/Article: Feinstratigraphisch- fazielle Analyse der „Schaumkalk-Serie" des Unteren Muschelkalkes im Elm (Ost-Niedersachsen) 165-205